



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA TVAROVÉHO KRYTU

PRODUCTION OF THE SHAPE COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DANIEL ŽILKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Daniel Žilka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba tvarového krytu

v anglickém jazyce:

Production of the shape cover

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby krytu vývodového hřídele zemědělské techniky. Používá se pro zakrytí vývodového hřídele v prostoru mimo traktor, když není hřídel využíván. Součástka je rotačního tvaru s přírubou. Bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a variantní řešení možností výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W. und E. SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
7. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

ŽILKA Daniel: Výroba tvarového krytu

Práce se zabývá návrhem výroby krytu vývodového hřídele zemědělské techniky, vyrobeného z hlubokotažné oceli DC04. Na základě geometrie součásti, materiálu a objemu zakázky 10000 ks za rok, byla pro výrobu zvolena technologie tažení bez ztenčení stěny. Pro tuto technologii byl zpracován návrh výroby, tažení bude realizováno ve čtyřech operacích v modulárně řešeném nástroji na dvojčinném hydraulickém lise Žďas CTH 250. Návrh nástroje je součástí práce, tažidlo pro první tah je popsáno podrobně. V rámci ekonomického zhodnocení je spočítaná cena jednoho výrobku a zhodnocena ziskovost zakázky.

Klíčová slova: Hluboké tažení, výtažek, tvarový kryt, tažný nástroj, hydraulický lis.

ABSTRACT

ŽILKA Daniel: Production of the shape cover

This thesis deals with a project for production of output shaft cover for agricultural technique which is made of deep drawing steel DC04. On the basis of component geometry, material and contract volume (10000 pieces per year) the drawing technology without wall attenuation has been chosen. A production plan has been processed for this technique. Drawing will be realized within four operations in a modularly solved tool in double-acting hydraulic press Ždas CTH 250. A die design is a part of the thesis, the drawing tool for the first operation is described in detail. Within economic assessment a product price is counted and contract profitability is evaluated

Keywords: Deep drawing, deep drawn stamping, shape cover, drawing die, hydraulic press.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽILKA, Daniel. *Výroba tvarového krytu*. Brno, 2015. 40s, 5 výkresů, 6 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 27. 5. 2015

.....
Daniel Žilka

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D za velmi cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI.....	10
1.1 Možnosti výroby.....	10
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	12
2.1 Určení rozměrů a tvaru polotovaru.....	13
2.2 Technologické parametry.....	14
2.2.1 Součinitel tažení a počet tažných operací	15
2.2.2 Potřeba použití přidržovače.....	16
2.2.3 Tažná mezera	17
2.2.4 Rychlost tažení	17
2.3 Síla a práce	18
2.4 Tažné nástroje.....	19
2.4.1 Tažnice	20
2.4.2 Tažníky	21
2.4.3 Přidržovače.....	21
2.5 Stroje	22
2.6 Maziva pro tažení	23
2.7 Technologičnost	23
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	24
3.1 Velikost přístřihu	24
3.2 Nástřihový plán	26
3.3 Výpočty tažení.....	27
3.3 Návrh postupu výroby	31
3.4 Volba stroje	32
3.5 Simulace tažení.....	33
3.6 Nástroj.....	34
3.6.1 Konstrukce tažidla pro první tah	35
3.6.2 Konstrukční výpočty.....	35
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	37
5 ZÁVĚRY.....	40

Seznam použitých zdrojů

Seznam symbolů a zkratk

Seznam příloh

ÚVOD [14], [19]

V dnešní době existuje velké množství výrobních technologií od těch základních stoletími osvědčených až po aktuální technologické novinky, právě uváděné do praxe. Strojírenské technologie lze rozdělit na čtyři hlavní směry, kterými jsou obrábění, slévárnictví, svařování a tváření. Každá součást má svá specifika a některý způsob výroby je pro ni vhodnější.

Tvářecí technologie výroby jsou velmi efektivní, jejich proces lze snadno automatizovat a dosahovat tak vysoké produktivity, proto se často uplatňují v sériové a hromadné výrobě. Jednou z jejich hlavních předností je velké využití materiálu, kdy odpad bývá minimální. V porovnání s například třískovým obráběním, kde naopak odpad odebíraný v podobě třísek tvoří výraznou část hmotnosti polotovaru, jsou technologie tváření mnohem hospodárnější, neboť materiál primárně neodebírají, ale naopak přeskupují objem polotovaru. Tváření se dělí na objemové a plošné, při objemovém dochází k deformaci polotovaru ve třech směrech, během plošného převládá dvouosá deformace. Technologiemi objemového tváření jsou například kování, pýchování, protlačování, a také válcování. Mezi plošné tváření patří tažení, stříhání a ohýbání.

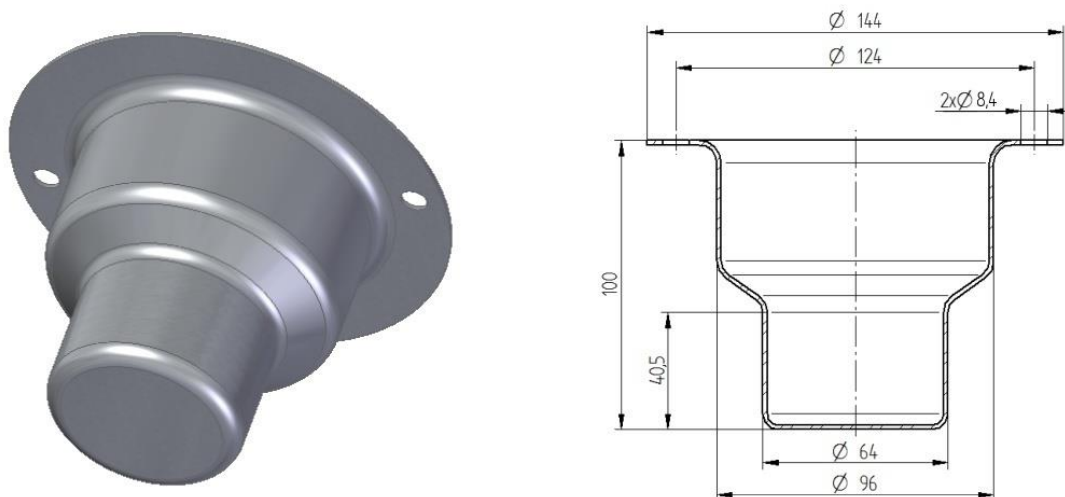
Technologie tažení se využívá pro výrobu rozmanitých dutých součástí, od různých jednoduchých krytů rotačního tvaru, pouzder, víček, filtrů, nádob až po tvarově velmi náročné nesymetrické součásti karoserií automobilů. Příklad dílů vyráběných tažením je na obrázku 1.



Obr. 1 Příklad součástí vyrobených tažením [19]

1 ROZBOR SOUČÁSTI

Součást je kryt vývodového hřídele zemědělské techniky, který slouží pro zakrytí hřídele v prostoru mimo traktor, když není hřídel využíván pro pohon přidavných zařízení. Kryt je rotačního tvaru, odstupňovaný se dvěma průměry a krátkým přechodovým kuzelem. Příruba je opatřena dvěma otvory (obr. 2) určenými pro připevnění součásti šrouby. Tloušťka stěny součásti je 1,5 mm. Všechny rozměry jsou uvedeny na výkrese BP-01-153406, který je v příloze. Velikost výrobní série činí 10 000 ks/rok.



Obr. 2 Schéma součásti

Součást nebude nijak mechanicky namáhána, nejsou proto z hlediska funkce kladeny žádné zvláštní nároky na vlastnosti materiálu. Vzhledem k možným způsobům výroby součásti plošným tvářením je vhodné, aby měl materiál vysokou tažnost. Důležité je, aby materiál nepodléhal stárnutí. Těmto požadavkům odpovídá hlubokotažná, ukladná ocel DC04. Mechanické vlastnosti a chemické složení zvolené oceli jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Vlastnosti materiálu DC04 EN 10130 [1]

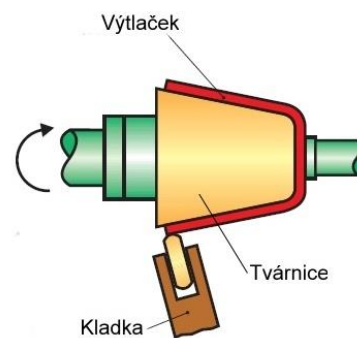
Mechanické vlastnosti			Chemické složení			
Mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A80 [%]	C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
140 - 210	270 - 350	≥ 38	≤ 0,080	≤ 0,40	≤ 0,030	≤ 0,030

Kryt bude vystaven atmosférickým vlivům. Zvolený materiál součásti není korozivzdorný, a proto by součást měla být proti korozi chráněna. Vhodná ochrana je žárové zinkování. Povrch vrstvy zinku je odolný a má poměrně dlouhou životnost. Zinkování bude dána přednost před černěním, protože při použití zinkování je docíleno větší tloušťky, trvanlivosti a odolnosti proti porušení nanášené vrstvy. Zinek poskytuje protikorozi ochranu i při porušení povlaku, kdy je ocel chráněna katodicky.

1.1 Možnosti výroby [17],[21],[24]

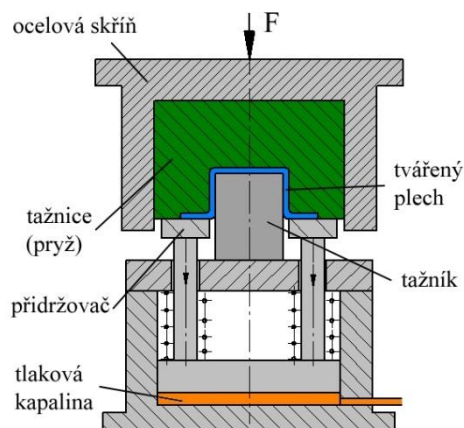
K výrobě součásti bude zvolena ekonomicky a technicky nejvýhodnější varianta výroby. Do ekonomického zhodnocení spadá v první řadě využití materiálu, cena nástroje a efektivita výrobní technologie. Součást bude vyráběna některou z technologií plošného tvářením. Vzhledem ke geometrii součásti budou pro výrobu upřednostněny technologie tvářením bez ztenčení stěny.

- Kovotlačení – plech je upnut mezi tvárnici a příložku, během rotačního pohybu je tvarován pomocí kladky, případně ručně vedenými tlačnými nástroji. Proces probíhá na strojích podobných konvenčním soustruhům. Takto lze vyrábět i poměrně tvarově komplikované součásti. Kovotlačení se využívá především pro kusovou a malosériovou výrobu, schéma je zobrazeno na obrázku 3. Vzhledem k objemu výrobní série součásti a jednoduchému tvaru není tento způsob výroby vhodný a nebude pro výrobu využita.



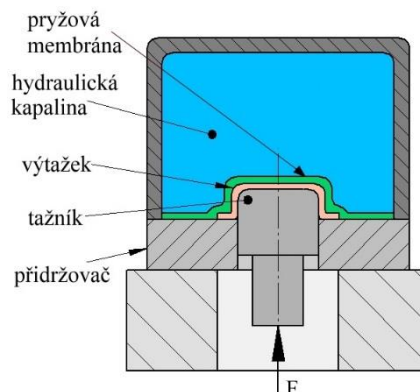
Obr. 3 Kovotlačení [24]

- Marform - tažení pomocí elastomeru, během kterého se využívá nepevného nástroje. Skříň vyplněná elastomerovými deskami je tlačena proti nepohyblivému kovovému tažníku, čímž se plech umístěný mezi těmito nástroji vtlačuje do elastomeru. Metoda (obr. 4) kombinuje tažení pryží a běžné tažení s přidržovačem. Výhodami jsou univerzálnost, levný nástroj a kvalitní povrch výtažku. Na druhé straně nástroj má omezenou životnost a jsou potřeba velké tažné síly. Metoda je vhodná především pro kusovou výrobu, například pro výrobu prototypů. Tato metoda nebude i přes nízkou cenu nástroje využita, protože není vhodná pro sériovou výrobu



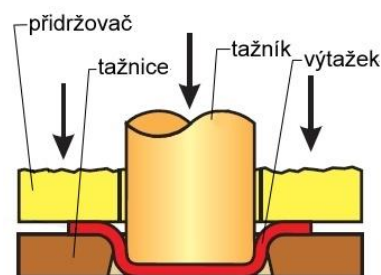
Obr. 4 Metoda Marform [21]

- Hydroform - tažení kapalinou, při kterém se jako nástroje využívá kapaliny v nádobě uzavřené membránou. Tažník se vtlačuje do nádoby s kapalinou, čímž je materiál tvářen. Princip je zobrazen na obrázku 5. Lze dosahovat vysokého přetvoření při malém počtu tažných operací. Metoda se využívá pro tažení složitých a přesných součástí, často i bez kalibrovacích operací. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně strojního vybavení nebude součástí takto vyráběna



Obr. 5 Metoda hydroform [17]

- Konvenční tažení – kovovým tažným nástrojem (tažníkem a tažnicí) se přetváří plech v jedné nebo více operacích na těleso dutého tvaru (obr. 6). Klasické tažení bez ztenčení stěny je nejpoužívanější metodou hlubokého tažení, kterou lze provádět i na klasických mechanických lisech. Pro velké přetvoření materiálu je potřebný větší počet tažných operací než u nekonvenčních metod. Tažné nástroje jsou konstrukčně náročné a poměrně drahé, ale mají dlouhou životnost. Metoda se uplatňuje v sériové výrobě.



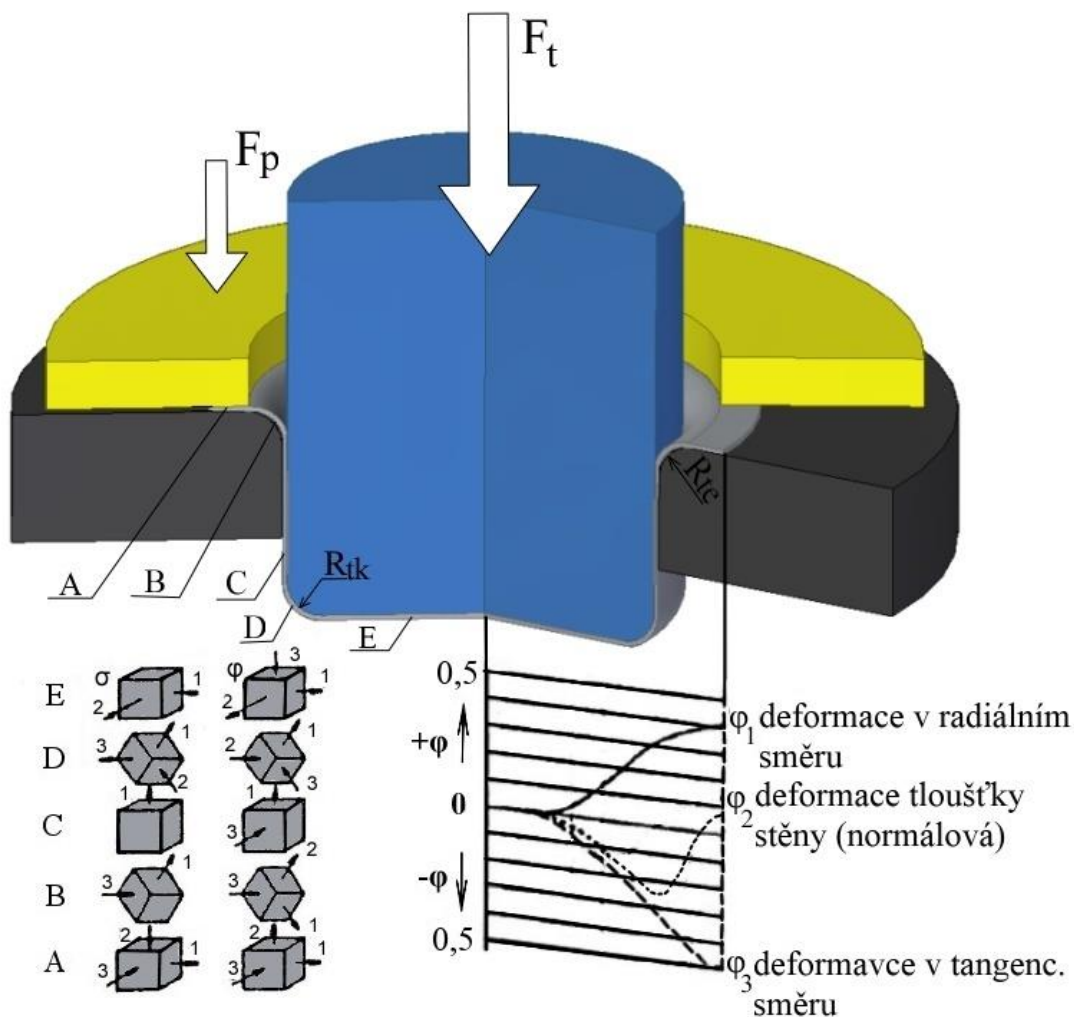
Obr. 6 Konvenční tažení [24]

Na základě zhodnocení tvaru součásti, zvoleného materiálu, objemu výrobní série a také porovnání výhod a nevýhod možných variant výroby součásti byla jako nejvhodnější pro výrobu krytu zvolena metoda konvenčního tažení bez ztenčení stěny. Na tuto metodu bude zaměřena následující literární studie a návrh výroby součásti.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [7], [23], [27]

Tažení je technologie plošného tváření za studena, při které se z rovinného přístříhu plechu vyrábějí duté součásti libovolného tvaru. Při tažení dochází k tvárné deformaci, při které se přesune značný objem materiálu. Tažení probíhá v tažném nástroji, který je umístěn na tvářecím stroji. Změna tvaru z rovinného přístříhu na duté těleso se realizuje tlakem tažníku. Přístřih je vtlačován do otvoru tažnice a zároveň je přidržován tlakem přidržovače. Dochází ke zmenšování průměru přístříhu.

Princip technologie tažení válcového výtažku s přidržovačem je zobrazen na obrázku 7, jsou zde vyznačeny i směry hlavních napětí působících v jednotlivých oblastech výtažku a průběh logaritmické deformace.

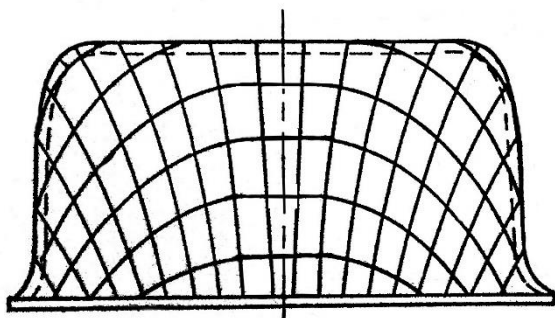


Obr. 7 Princip technologie tažení [7]

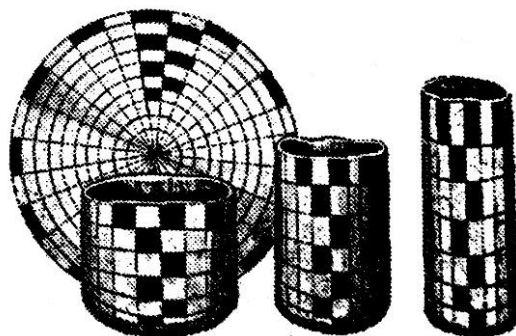
Při tažení se neustále mění druhy a velikost napjatosti. Také velikost deformace je v různých částech polotovaru během tažení různá. Největší napjatost a deformace je v přírubě výtažku. Nejnebezpečnějším místem je však přechod ode dna ke stěnám součásti, poněvadž materiál je v přechodové oblasti značně ztenčen a vyskytují se zde velká tahová napětí.

V přírubě výtažku pod přidržovačem vzniká působením přidržovače prostorová napjatost, viz obr. 7, oblast A. Na poloměru tažnice (B) vzniká největší radiální tahové napětí a malé tangenciální tlakové napětí. Válcová část výtažku (C) je oblastí, kde působí pouze jednoosá tahová napjatost. V oblasti přechodu válcové části výtažku do dna (D) působí prostorová nesterjnorodá napjatost, která způsobuje značné prodloužení, jehož důsledkem je ztenčení stěny.

Dno výtažku (E) je místem, kde vzniká pouze rovinná tahová napjatost spolu s prostorovým stavem deformace. Názorné zobrazení deformace je provedeno pomocí pravoúhlé sítě narýsované na polotovaru (obr. 8) a paprskové sítě (obr. 9). Změna sítě ukazuje, že tangenciální deformace stlačením je větší než radiální deformace roztažením.



Obr. 8 Deformace pravoúhlé sítě při tažení [23]



Obr. 9 Deformace kruhové sítě [23]

2.1 Určení rozměrů a tvaru polotovaru [3], [6], [22], [23]

Při určení velikosti polotovaru se vychází ze zákona zachování objemu. Příklad výtažku a jeho přístřihu je na obr. 10. Polotovaz lze určit nejen dle výpočtových vztahů, ale i pomocí diagramů a softwaru. Pro tažení bez ztenčení stěny se vychází zjednodušeně z toho, že tloušťka plechu se při tažení nemění, tento předpoklad umožňuje vycházet ve výpočtu z rovnosti objemů. Možnosti určení velikosti průměru přístřihu jsou následující:

- Z objemu – rovnost objemů výtažku a přístřihu:

$$V = S_0 \cdot s = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot s \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.1)$$

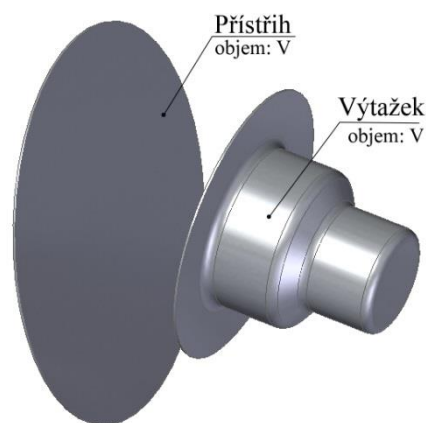
kde: S_0 – plocha přístřihu [mm²]

D_0 – průměr přístřihu [mm]

s – tloušťka plechu [mm]

Určení průměru přístřihu pro tažení jednoduchých výtažků rotačního tvaru:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}} \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

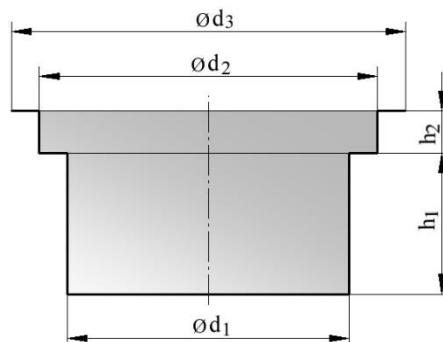


Obr. 10 Rovnost objemů

- Ze vzorce – pro jednoduché geometrické tvary výtažků lze pomocí literatury jednoduše určit vzorce pro výpočet průměru přístřihu. Tímto způsobem lze snadno a rychle určit orientační velikost D_0 . Nejpodobnější tvaru zadané součásti je odstupňovaný výtažek s přírubou (obr. 11), výpočet určený pro tento tvar podle [24] je:

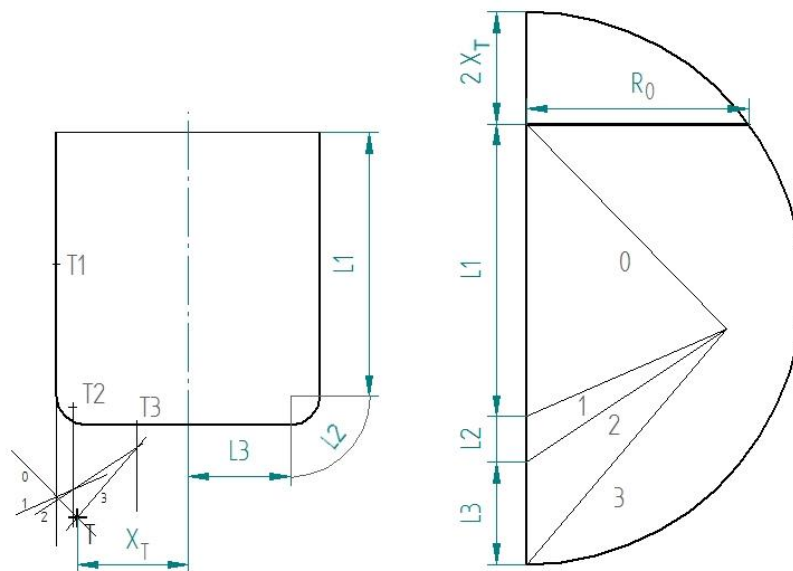
$$D_0 = \sqrt{d_3^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: d_1, d_2, d_3, h_1, h_2 jsou rozměry z obr. 11



Obr. 11 Geometrie výtažku [24]

- Grafické řešení – vychází z Guldinovy věty. Grafické určení poloměru přístřihu pro jednoduchý válcový výtah bez příruby je znázorněno na obrázku 12. Pomocí paprskové konstrukce se najde těžiště křivky součástí. Do složkového obrazce je následně vynesena vzdálenost těžiště, sestrojí se oblouk a velikost kolmé přímky R_0 je poloměrem přístřihu.



Obr. 12 Grafický způsob určení rozměrů polotovaru [4]

- CAD software - určení rozměrů polotovaru s využitím programů pro modelování a simulace lze již v průběhu navrhování konkrétní součásti. Programy jako PAM-STAMP, Solid Works nebo Inventor umožňují snadný výpočet průměru přístřihu.

Po tažení následuje ostříhování nerovného okraje nebo příruby součásti. Teoretický, vypočtený průměr přístřihu se zvětšuje o příslušný přídavek na ostřížení. Pro jednooperační tažení je dle ČSN 22 7301 přídavek až 3% a při každé další operaci se zvětšuje o 1%.

Výpočet skutečného průměru přístřihu:

$$D_{oskut} = D_0 \cdot [1 + 0.03 + (i - 1) \cdot 0.01] [mm] \quad (2.4)$$

kde: i – počet tažných operací [-]

2.2 Technologické parametry [7], [23]

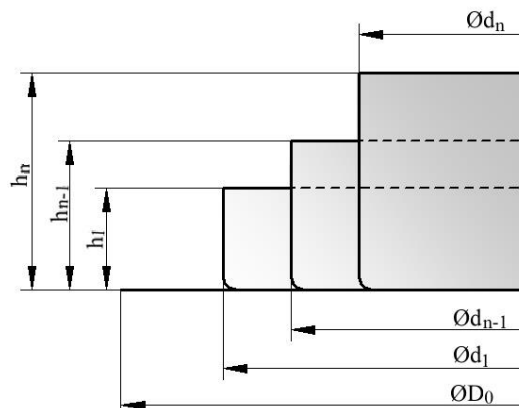
Ke zhotovení přesného a kvalitního výtahu je nutné dodržet optimální technologicko – konstrukční parametry procesu tažení a vytvořit tak nejpriznivější možné podmínky pro deformaci materiálu. Volba vhodného plechu, počtu operací a konstrukce tažného nástroje jsou nezbytné a zásadně ovlivňují celkový průběh tažného procesu. Dalšími faktory ovlivňujícími tažný proces jsou tření (volba maziva nebo zdrsňení), měrný tlak přidržovače a v neposlední řadě rychlost tažení.

Při dodržení všech technologických zásad a správné konstrukci nástroje by nemělo docházet ke vzniku vad a výsledkem tažení by měl být shodný výtah dosažený ekonomicky nejvýhodnějším způsobem.

2.2.1 Součinitel tažení a počet tažných operací [7], [10], [19], [23]

Deformace dosažitelná v jednom tahu je omezená, proto je velikost výtažku zhotoveného v jedné operaci limitována minimálním průměrem. Jsou-li taženy hlubší výtažky malého průměru, je potřeba víceoperační tažení. Případně je potřeba do procesu zařadit mezioperační tepelné zpracování, kterým je rekrystalizační žíhání. Výtažky se obvykle žíhají již po třetí tažné operaci. Příklad postupu víceoperačního tažení součásti je zobrazen na obrázku 13.

Počet tažných operací závisí na poměru výšky a průměru tažené součásti a zároveň na poměrné tloušťce polotovaru. Cílem je nejmenší možný počet tažných operací s velkým stupněm deformace. Ukazateli stupně deformace při tažení jsou součinitel tažení a stupeň tažení. Na velikost součinitele tažení má vliv mnoho faktorů, například druh materiálu a jeho tloušťka, poměrná tloušťka, geometrie nástroje a podmínky tažení. Potřebný počet tažných operací vychází z hodnoty celkového součinitele tažení.



Obr. 13 Víceoperační tažení [10]

Součinitel tažení pro první operaci:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} [-] \quad (2.5)$$

kde: d_1 – průměr výtažku v 1. tahu [mm]

Součinitel tažení pro další tahy:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} [-] \quad (2.6)$$

kde: d_n – konečný průměr výtažku [mm]

d_{n-1} – průměr výtažku z předchozí operace [mm]

Celkový součinitel tažení:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_{n-1} \cdot m_n [-] \quad (2.7)$$

Stupeň tažení, který se často využívá především v zahraniční literatuře, je převrácenou hodnotou součinitele tažení. Určení stupně tažení pro první tah:

$$K = \frac{D_0}{d_1} = \frac{1}{m_1} [-] \quad (2.8)$$

Dále je pro určení tabulkových hodnot součinitelů tažení potřeba určit poměrnou tloušťku polotovaru:

$$\Delta s = \frac{s}{D_0} \cdot 100 [-] \quad (2.9)$$

Na součinitele tažení má velmi podstatný vliv geometrický tvar dílu. Součástí různého geometrického tvaru odpovídají různé součinitele tažení. Rozdíl je například už v tažení válcové součásti s přírubou a bez příruby. Tabulky pro určení součinitelů tažení jsou uvedeny v příloze 1.

Při prvních tažných operacích, u kterých jsou poloměry zaoblení nástrojů větší než v dalších operacích, se používají menší součinitele tažení. Žihá-li se mezi operacemi, mohou se volit menší součinitele. Teoretický počet operací se určí:

$$n = \frac{\ln(d_n) - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(m_2)} [-] \quad (2.10)$$

Tento výpočet nezohledňuje tvar součásti a proto je potřeba určení skutečného počtu tažných operací vypočítat přímo pomocí součinitelů tažení. Teoretický počet tažných operací odpovídá počtu operací při tažení součásti nejjednoduššího možného tvaru, jednoduchého válcového výtažku bez příruby se dnem kolmým k ose.

2.2.2 Potřeba použití přidržovače [7], [9], [17], [26]

V přírubě výtažku převládají tangenciální tlaková napětí a plech má tendenci se v této části zvlnit, příklad zvlnění výtažku je zobrazen na obrázku 14, tento jev lze minimalizovat vlivem přidržovací síly. Na vznik vln má také vliv materiál výtažku, například anizotropie plechu.

Potřeba použití přidržovače se určuje podle empirických vztahů. U hlubokého tažení tenkých plechů (tloušťka do 0,5 mm) se přidržovač volí vždy. Při mělkém tažení nebo při tažení plechů větších tloušťek není vždy přidržovač potřeba.



Obr. 14 Zvlnění příruby výtažku [9]

Výpočet potřeby přidržovače lze provést například podle následujících třech způsobů:

- ČSN 22 7301 – určuje potřebu použití přidržovače podle:

$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad (2.11)$$

kde: Z – materiálová konstanta (hlubokotažná oce Z = 1,9) [-]

Platí-li při prvním tahu vztah 2.11, je potřeba táhnout s přidržovačem.

$$\alpha \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad (2.12)$$

V dalších tažných operacích je přidržovač nutný, je-li:

$$\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9 \quad (2.13)$$

- Freidling vychází z poměrné tloušťky polotovaru (výpočet 2.9):

Je-li $\Delta s < 1,5$ přidržovač je nutný.

$\Delta s > 2$ přidržovač není potřeba.

$\Delta s = 1,5$ až 2 je způsob tažení nutné ověřit.

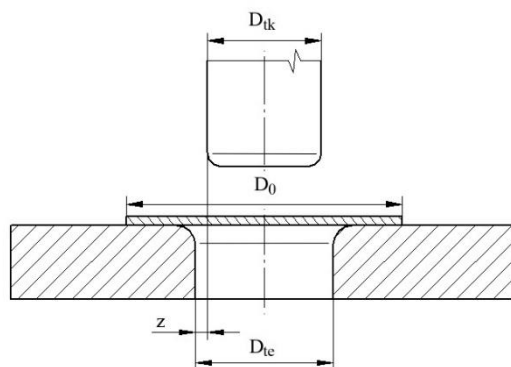
- Šofman stanovil pro tažení bez přidržovače následující podmínku:

$$D_0 - d \leq 18 \cdot s \quad (2.14)$$

Táhnout bez přidržovače je možné, jen pokud je podmínka splněna.

2.2.3 Tažná mezera [7], [20]

Tažná mezera se volí větší, než je tloušťka plechu s ohledem na snížení tažné síly a se zohledněním výrobních tolerancí plechu. Pouze při kalibraci (poslední tažná operace) je velikost vůle stejná jako tloušťka plechu. Při volbě tažné mezery se bere ohled na snížení tažné síly a na tolerance tloušťky plechu. Schématické znázornění tažné mezery je na obrázku 15.



Obr. 15 Tažná mezera [20]

$$z = \frac{D_{te} - D_{tk}}{2} \text{ [mm]} \quad (2.14)$$

kde: D_{te} – průměr tažnice [mm]

D_{tk} – průměr tažníku [mm]

Potřebnou velikost tažné mezery lze určit například těmito dvěma způsoby:

- ČSN 22 7301 stanovuje velikost tažné mezery v závislosti na tloušťce plechu takto:

Pro první tažnou operaci:

$$z = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.15)$$

Pro další tažné operace:

$$z = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.16)$$

Pro poslední tažnou – kalibrovací operaci:

$$z = 1 \cdot s_0 \text{ [mm]} \quad (2.17)$$

- Oehler stanovil výpočet uvažující maximální tloušťku a zároveň i typ materiálu:

$$z = s_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

kde: k – materiálový součinitel [-] (pro ocel $k = 0,07$)

s_{\max} – maximální tloušťka materiálu [mm]

Pokud je tažná mezera zvolena příliš malá, roste velikost tažné síly a může dojít k utržení dna výtažku. Je-li naopak tažná mezera příliš velká, dochází ke zvlnění stěn výtažku případně ke vzniku přeložek ve stěnách. Proto je nutné zvolit její optimální velikost.

2.2.4 Rychlost tažení [13], [27]

Rychlost tažné operace se odvíjí od doby trvání pracovního zdvihu lisu, tento parametr je na některých hydraulických lisech nastavitelný, u klikových tomu tak není a navíc se rychlost mění v průběhu zdvihu v závislosti na úhlu pootočení kliky. Při běžném tažení by tažná rychlost neměla překročit určitou mez. Při překročení maximální tažné rychlosti by mohlo dojít k porušení výtažku. Doporučená tažná rychlost pro nelegovanou ocel je 11 až 18 m. min⁻¹.

Vzhledem k tomu, že u excentrických lisů není během tažení tažná rychlost konstantní, je potřeba určit její velikost, která je nejvyšší v okamžiku prvního kontaktu tažníku s materiálem a postupně klesá. Hydraulické lisy pracují v celém zdvihu konstantní tažnou rychlostí. Velikost rychlosti klikového lisu se vypočítá:

$$v = 0,006 \cdot 3 \cdot n_l \cdot \sqrt{z_b \cdot q - q^2} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.19)$$

kde: n_l – počet otáček [min⁻¹]

z_b – celkový zdvih beranu [mm]

q – pracovní zdvih tažníku (hloubka tažení) [mm]

2.3 Síla a práce [4], [7], [13], [23], [25], [26]

V průběhu tažení dochází ke změně tažné síly. Při výpočtu se vychází z toho, že tažná síla musí být vždy menší než síla, která způsobí utržení dna výtažku, neboli dovolené napětí nesmí přesáhnout mez pevnosti. Diagram na obr. 16 ukazuje změnu síly v závislosti na hloubce tažení.

Mezi činitele ovlivňující velikost tažné síly patří velikost tření vznikajícího posuvem na zaoblené hraně tažnice, tření příruby výtažku o plochu povrchu tažnice a přidržovače, ohyb taženého plechu na hraně tažnice, deformační zpevnění materiálu a změna tloušťky stěny.

Pro stanovení tažné síly je uváděno mnoho vztahů, které se dají rozdělit na teoretické a zjednodušené praktické. V praxi se pro určení velikosti síly potřebné pro tažení používají zjednodušené empirické vztahy, maximální tažná síla musí být menší než F_{krit} , síla na utržení dna výtažku. Velikost síly na utržení dna se vypočte následovně:

$$F_{krit} = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m [N] \quad (2.20)$$

Při překročení této síly dojde k utržení dna, a proto je skutečná tažná síla vždy menší. Pro zohlednění průběhu síly se do výpočtu přidává koeficient vycházející ze součinitele tažení, některé hodnoty součinitele C jsou uvedeny v tab. 2, tento výpočet potom je:

$$F_k = C \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m [N] \quad (2.21)$$

kde: C – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení a poměrné tloušťky [-]

Tab. 2 Vybrané hodnoty součinitele C [13]

m [-]		0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
První tah	C [-]	1,00	0,86	0,72	0,60	0,5	0,40	-	-	-
Další tahy		-	-	-	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Při tažení s přidržovačem je potřeba určit velikost potřebné přidržovací síly, její velikost lze určit pomocí měrného přidržovacího tlaku.

$$F_p = S_C \cdot p [N] \quad (2.22)$$

kde: S_C – činná plocha pod přidržovačem [mm^2]

p – měrný přidržovací tlak [MPa] (pro ocel 1,8 až 2,8)

Celková síla při použití přidržovače a vyhazovače se určí jakou součet síly přidržovací a tažné:

$$F_C = F_k + F_p + F_{VH} [N] \quad (2.23)$$

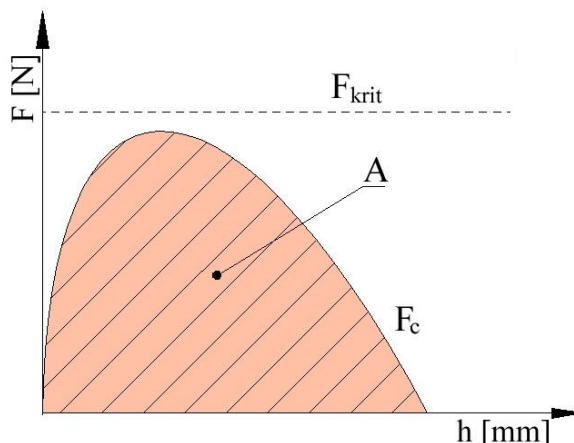
kde: F_{VH} – síla vyhazovací [N]

Velikost práce se určí jako plocha pod křivkou průběhu celkové síly (obr. 16), integrací funkce průběhu této křivky. Zjednodušeně se tažná práce vypočítá:

$$A = \frac{c \cdot F_C \cdot h}{1000} [J] \quad (2.24)$$

kde: c – součinitel zaplnění [-] (bývá 0,6 až 0,8)

h – hloubka tažení [mm]

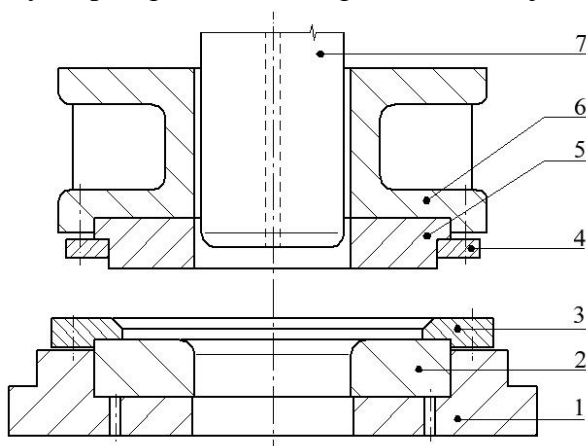


Obr. 16 Průběh síly při tažení [7]

2.4 Tažné nástroje [10],[13],[20]

Konstrukční řešení tažidel bývá různé, elementární vliv na konstrukci má výška a vnější průměr výtažku. Na konstrukci tažidla má velký dopad pořadí tažné operace. Nástroje lze z technologického hlediska rozdělit na jednoduché a postupové. Nezanedbatelný vliv na konstrukci nástroje má také volba lisu, konstrukční řešení pro jednočinný lis bude jiné než pro lis dvojčinný.

Příklad konstrukce tažného nástroje pro první tah na dvojčinném lise je uveden na obr 17. Tažidlo se skládá ze základové desky (1), ve které je pomocí zakládacího kroužku (3) upnuta tažnice (2). Upínacím kroužkem (4) je připevněn přídržovač (5) k horní upínací desce (6). Tažník (7) má upínací část podle typu stroje.

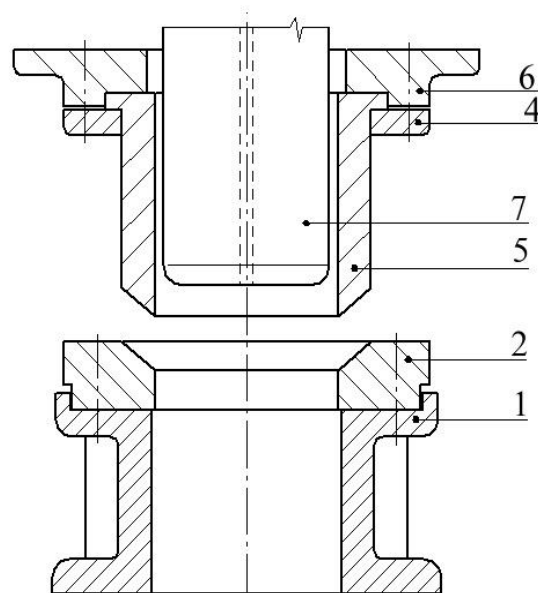


Obr. 19 Tažný nástroj pro dvojčinný lis [10]

Tažidlo pro další tažnou operaci (obr. 18) je charakteristické dlouhým zkoseným přídržovačem (5) a vysokou základovou deskou (1), ve které je upnuta tažnice (2) s kuželovým náběhem a ostrou stírací hranou.

Mezi společné části nástrojů patří:

- Základová deska (1) sloužící k připevnění nástroje na stůl lisu a pro ukotvení vedení nástroje, nejčastěji se připevňuje upínkami. Pro větší nástroje bývají vyrobeny z litiny (42 2456, 42 2661) nebo jsou ocelové (11 523, 10 370).
- Upínací deska (6) zajišťuje připevnění přídržovače respektive přídržovače a tažníku k beranu lisu, využívají se obdobné materiály jako pro desky základové, často jsou svařované. Bývá upnuta upínkami případně přímo stopkou.
- Zakládací kroužek (3) upínající tažnici slouží zároveň k založení a vystředění přístřihu, kroužek je opatřený otvory pro šrouby a kolíky, kterými je upnut k základové desce. Obvykle bývá vyroben z oceli 11 600.
- Upínací kroužek (4) je obdobné konstrukce a materiálu jako zakládací kroužek, slouží pro připevnění přídržovače k horní upínací desce upnuté do beranu lisu.
- Vodicí sloupky zajišťující vedení nástroje a stopka. Sloupky bývají zalisované nebo přišroubované v základové desce a horní část tažidla je vedena pomocí vedení, které bývá valivé nebo kluzné.
- Stopka zajišťuje upnutí tažníku nebo upínací desky přímo do beranu lisu, bývá vyrobena z oceli 11 600.



Obr. 19 Tažidlo pro další tah [10]

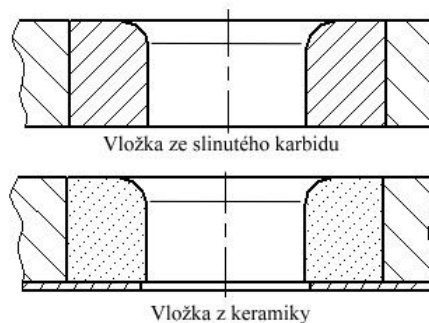
Hlavní činné části nástroje realizující tažení jsou tažník a tažnice, možnosti jejich konstrukce a úprav budou popsány dále.

2.4.1 Tažnice [7],[13],[20]

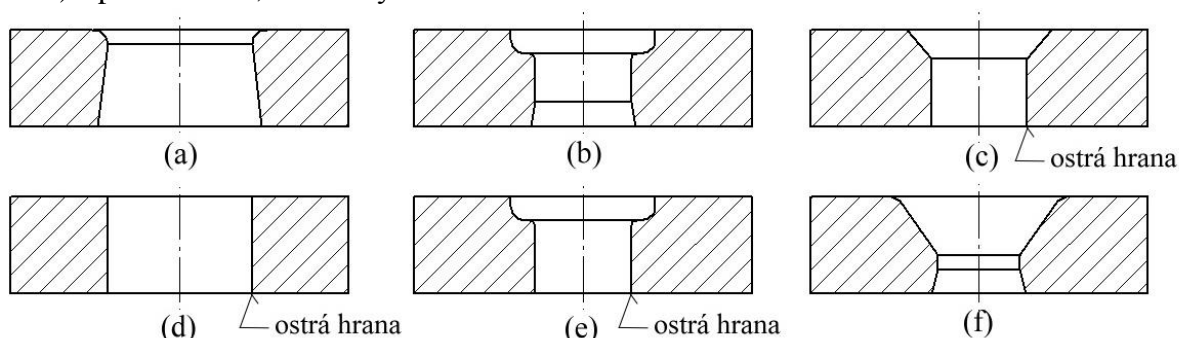
Tažnice bývají prstencového tvaru s funkčním otvorem, konstruují se jako celistvé nebo vložkované. U tažnic se vložkuje tažná hrana (obr. 19). Vložky jsou z nástrojové oceli nebo ze slinutého karbidu, do tažnic jsou zalisovány s předpětím.

Jednotlivá provedení funkčních otvorů tažnic uvedená na obrázku 20 jsou následující:

- výtažek se vrací nad tažnici a je setřen,
- tažnice pro další tah, kdy se výtažek vrací nad tažnici,
- pro druhý případně další tah, kdy výtažek propadá,
- výtažek propadá pod nástroj,
- pro další tah, kdy výtažek propadá,
- pro další tah, kde se výtažek vrací nad tažnici.



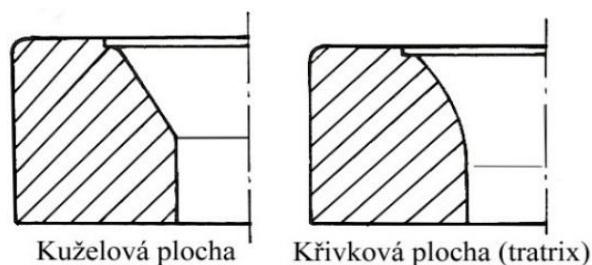
Obr. 19 Vložky tažnic [13]



Obr. 20 Tažnice [20]

Při tažení tlustých plechů, kdy není potřeba použít přidržovač, se pro dosažení větší deformace upravuje funkční plocha tažnice. Úpravy tažnice jsou zobrazeny na obr. 21.

Zvětšením poloměru zaoblení tažnice se usnadňuje tažení, je možné táhnout hlubší výtažky s větším stupněm tažení. Zároveň se zmenšuje plocha pod přidržovačem, čímž může dojít až ke ztrátě funkce přidržovače a dojde ke vzniku zvlnění. Je proto potřeba určit optimální velikost zaoblení tažné hrany.



Obr. 21 Tažnice pro tažení bez přidržovače [20]

Poloměr zaoblení tažnice pro první tah:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s} \text{ [mm]} \quad (2.25)$$

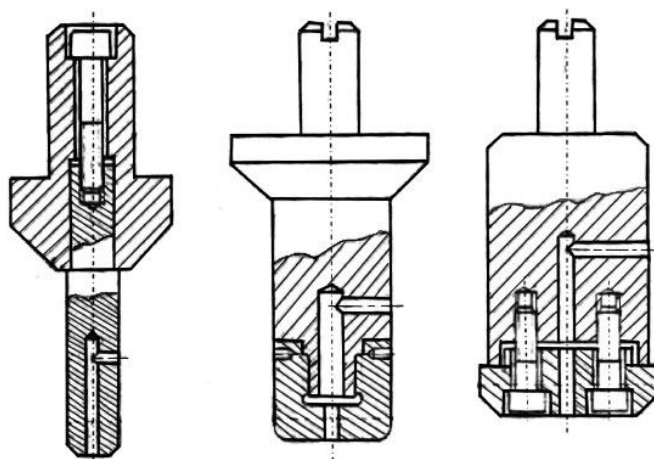
Pro tažení v další operaci se volí poloměr tažné hrany podle vztahu:

$$R_{te} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot R_{te_{n-1}} \text{ [mm]} \quad (2.26)$$

Tažnice bývají z nástrojových ocelí 19 191, 19 436, 19 356, na méně namáhané lze použít cementační ocel 14 220. Nástroje bývají kaleny a popouštěny na HRC 58 až 63, pro dobré třecí vlastnosti se využívá i šedá litina, například 42 2425 nebo 42 2456. Nástroje mohou být vložkovány vložkami ze slinutých karbidů nebo keramiky, tělo vložkované tažnice bývá z běžné konstrukční oceli. Tažné nástroje mohou být také povlakovány, jsou využívány PVD povlaky TiN a TiC.

2.4.2 Tažníky [12], [13], [20]

Přímou funkční částí tažníků jsou čelo, poloměr zaoblení tažné hrany a válcová část. Nejvíce zatížený je poloměr zaoblení. Tažník je namáhán na vzpěr. Vnější průměr tažníku je zároveň vnitřním průměrem výtažku. Tažníky se obdobně jako tažnice konstruují celistvé nebo vložkované, vložkovat lze na tažné hraně, nebo na válcové části (obr. 22). Velmi důležité pro snazší stírání výtažku je zavzdušnění prostoru výtažku, které se provádí vyvrtáním díry v ose tažníku a bočního otvoru nad předpokládaným obvodem výtažku.



Obr. 22 Konstrukce tažníků [20]

Poloměry zaoblení tažníku jsou stejné nebo větší než poloměry zaoblení tažnice příslušných operací. Poloměr tažníku při poslední operaci bývá shodný s poloměrem zaoblení hrany výtažku. Vzorce pro určení poloměru zaoblení tažníku jsou uvedeny v tab. 3.

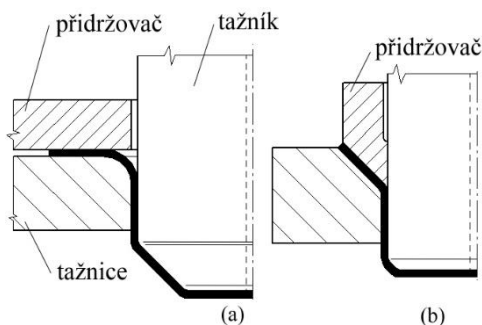
Držák tažníku bývá obvykle vyroben z běžné konstrukční oceli, pro konstrukci tažníků se využívá obdobných nástrojů a tepelného zpracování jako pro tažnice.

Tab. 3 Určení poloměru zaoblení tažníku [13]

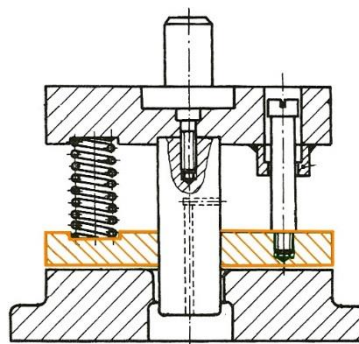
$\frac{s}{D} \cdot 100$ [–]	> 0,6	= 0,3 až 0,6	< 0,3
[mm]	$R_{tk} = R_{te}$	$R_{tk} = 1,5 \cdot R_{te}$	$R_{tk} = 2 \cdot R_{te}$

2.4.3 Přidržovače [4], [13]

Přidržovače slouží k zamezení vzniku vln při tažení. Přidržovač pro první tah je rovinný prstenec (obr. 23a), pro další tahy je funkční část přidržovače kuželovitá (obr. 23b) s přechodovými poloměry zaoblení stejnými jako tažnice, vnější průměr přidržovače se rovná vnitřnímu průměru výtažku z předchozí operace. Přidržovač plní středící funkci. Podle konstrukce tažného nástroje se dělí na horní a spodní. Přidržovací síla se na jednočinných lisech vyvozuje pomocí pružin, pneumaticky anebo hydraulicky, příklad nástroje s horním odpruženým přidržovačem je na obrázku 24. Přidržovače na dvojčinném lise jsou ovládány vlastním beranem lisu. Přidržovače bývají vyrobeny z ocelí 19 191, 19 436 a kaleny na HRC 61 až 63. Můžou být vyrobeny také z litiny, např. 42 2456.



Obr. 23 Konstrukce přidržovačů [13]

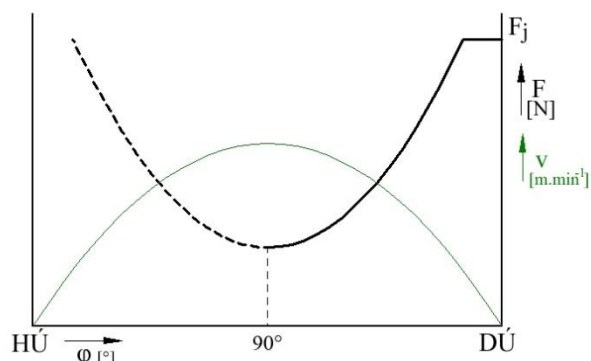


Obr. 24 Horní pružinový přidržovač [13]

2.5 Stroje [21], [22], [24], [27]

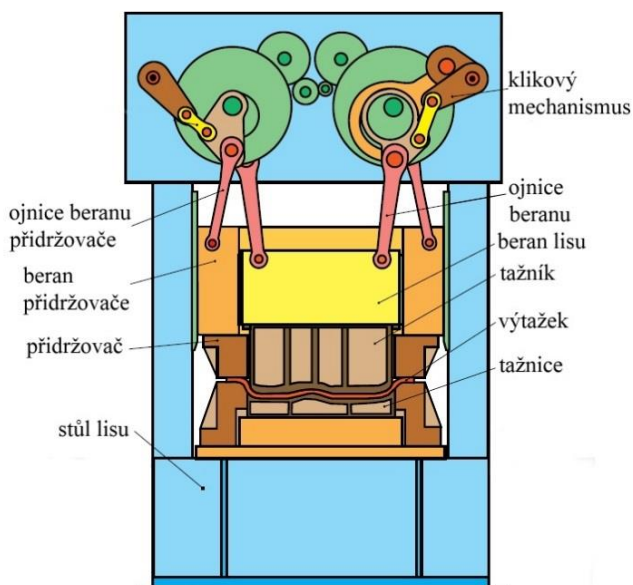
Tvářecími stroji využívanými při tažení jsou lisy, jejich pohon je realizován mechanicky nebo hydraulicky. Velikost lisu se volí podle celkové potřebné síly (součet tažné a přidržovací síly) navýšené pro bezpečnost o minimálně 30 %. Lisy se rozdělují podle toho, kolik přenášejí sil, na jednočinné, dvojčinné a vícečinné (postupové). Dvojčinné lisy (obr. 26) mají zvlášť ovládaný tažný beran a beran přidržovače, naopak jednočinný lis disponuje pouze jedním pohyblivým beranem, proto musí být přidržovací síla realizována například pružinami.

Mechanické lisy jsou poháněné klikovým mechanismem nebo jeho obdobami. Mají velkou výrobnost, konstrukčně jsou poměrně jednoduché a levné. Nevýhodou však je průběh tvářecí síly, kde velikost tvářecí síly závisí na úhlu pootočení kliky. Maximální tvářecí sílu lze odebrat až těsně před dolní úvratí (obr. 25) Při překročení jmenovité síly může dojít k přetížení. Konstruuje se jako klikové nebo kloubové a jedno, dvou nebo čtyřbodové, což je počet ojníc. Kloubové lisy se využívají pro hlubší tažné operace, neboť kloubový mechanismus zajišťuje příznivější průběh tvářecí rychlosti během zdvihu lisu.

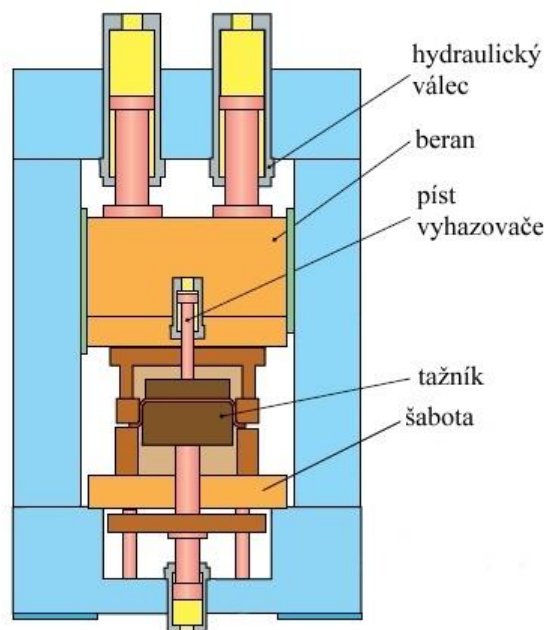


Obr. 25 Průběh síly a rychlosti [22]

Hydraulické lisy (obr. 27) využívají pro svou činnost rovnoměrného šíření tlaku v kapalině (hydraulický olej nebo vodní emulze). Síla beranu je konstantní a nezávisí na zdvihu, lze dosahovat velkých sil (řádově až desítky MN). U některých typů je možné plynule regulovat rychlost a v daném rozmezí nastavovat zdvih. Hydraulické lisy nelze přetížít. Mechanismy hydraulických lisů lze rozdělit dle umístění pohonu na mechanismy s pohonem přímým, nepřímým a kombinovaným. Nejčastěji se využívají lisy s přímým pohonem. Oproti mechanickým mají hydraulické lisy složitější konstrukci, horší účinnost, pomalejší chod beranu a z toho vyplývající menší výrobnost.



Obr. 26 Mechanický dvojčinný lis [24]



Obr. 27 Hydraulický lis [24]

2.6 Maziva pro tažení [4], [5], [6], [13], [23]

Mazání zmenšuje tření mezi materiálem a nástrojem a slouží jako ochrana proti zadírání plechu. Mazivo přináší úsporu energie, protože vlivem snížení třecí síly dochází ke snížení tažné síly, a to až o 30 %. Ze strany tažníku je naopak výhodné co nejvyšší tření, proto se polotovary maže pouze ze strany tažnice.

Mazivo musí vytvářet souvislý film, musí odolávat vysokým tlakům a dobře přilnout. Musí být chemicky odolné a naopak také snadno odstranitelné. Maziva lze rozdělit na maziva bez plnidel a na maziva s plnidly. Nejčastěji se využívá minerálních olejů s aktivačními přísadami, kterými jsou například kyselina oleinová, síra, fosfor a chlor. Maziva s obsahem plnidel vytváří pevnou vrstvu a odolávají vysokým tlakům. Plniva jsou křída, mastek a především grafit.

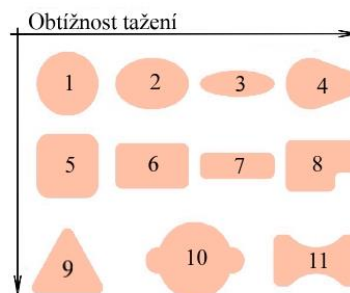
Pro hluboké tažení se nejčastěji uplatňují minerální oleje nebo emulze. Konkrétní mazivo je voleno podle přetvárného stupně tažné operace. Pro tažení ocelových plechů s nízkým obsahem uhlíku doporučuje [4] používat oleje s nižší viskozitou. S rostoucím přetvárným odporem se navíc k základním olejům aplikují tuky s obsahem mýdla bez pevných maziv. Naopak pro tažení ocelí s vyšším obsahem uhlíku se využívají vysoce aditivovaná maziva. Jako maziva vhodná pro zadanou součást z hlubokotažné oceli DC04 mohou být maziva firmy Molyduval určená pro hluboké tažení, příkladem je skupina maziv Moralub, jejíž jednotlivé oleje se liší především viskozitou. Dále připadají v úvahu maziva firmy Total, maziva této firmy nejvhodnější pro hluboké tažení jsou minerální oleje označení Martol. Další z velkého množství produktů na trhu jsou maziva IRMCO, která jsou vyráběná stejnojmennou firmou, jejich hlavní složkou je triethanolamin. Případně lze volit jiné alternativy, které se na trhu vyskytují.

2.7 Technologičnost [2], [4], [7], [16], [28]

Výrazný vliv na proces tažení má již volba materiálu součásti. Přesnost výtažků ovlivňuje konstrukce a přesnost tažidel, ale také materiálové faktory jako například anizotropie plechu, tažnost, mez kluzu. Pro vysoký stupeň deformace a více tahů je v případě ocelí ideální volbou hlubokotažný, uklidněný materiál.

Výtažky mají nerovnoměrnou tloušťku stěny, dochází ke ztenčení. Ztenčení může být nepatrné, avšak v extrémních případech při vysokém stupni tažení může ztenčení dosahovat 20 až 30 %. Nejmenší tloušťka stěny je v přechodu dna do pláště výtažku, v tomto místě může také dojít při přílišném ztenčení k utržení dna výtažku. Plášť výtažku bývá mírně kuželovitý ($1^\circ - 3^\circ$), k tomu dochází vlivem zpětného odpružení (největší při prvním tahu) a tažné mezery. Kuželovitost bývá nejvýraznější u nízkých výtažků z tlustého plechu. Okraje výtažku bývají nerovné, projevuje se tzv. cípatost. Nerovné okraje je potřeba ostříhnout.

Zásadní vliv na počet tažných operací má tvar výtažku (obr. 28), nejvýhodnější pro tažení jsou tvarově jednoduché výtažky válcového tvaru s kolmým dnem k ose válce, bez příruby. Obtížně se táhnou velmi široké, případně šikmé příruby. Požadovaný průměr příruby se obvykle vytvoří již v prvním tahu a při všech dalších operacích už zůstává stejný. Dále je velmi složité tažení dlouhých kuželů, které se řeší kalibrací stupňovitého polotovaru. V oblasti velkých přetvoření může docházet ke zdrsnění plechu. Poloměry zaoblení přechodů stěn výtažku musí být přizpůsobeny procesu tažení.

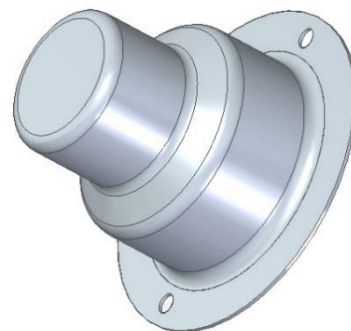


Obr. 28 Obtížnost tažení dle tvaru [2]

Zvláštní požadavky na rozměrovou přesnost a geometrický tvar znamenají jednak přídavnou kalibrovací operaci, ale především přesnější nástroje. Dosahovaná přesnost výtažků se pohybuje ve stupni IT 11 až IT 12. Dodatečnou kalibrací lze dosáhnout až IT 7.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Kryt vývodového hřídele zemědělské techniky (obr. 28), je osově symetrická, rotační, odstupňovaná součást s přírubou. Vnitřní průměry součásti 61 mm a 93 mm jsou spojené krátkým přechodovým kuzelem. Tloušťka stěny součásti je 1,5 mm. Kryt bude vyráběn z hlubokotažné oceli DC04 v počtu 10000 ks za rok.



Obr. 28 Model součásti

3.1 Velikost přístřihu

- a) Rovnost objemu výtažku a přístřihu.

Objem výtažku byl určen přímo z modelu součásti v programu Solid Edge ST6. Vlastnosti 3D modelu výtažku jsou v příloze 2. Objem výtažku je $V = 55855,332 \text{ mm}^3$. Výpočet průměru přístřihu dle vztahu (2.2):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 55855,332}{\pi \cdot 1,5}} = 217,74 \text{ mm}$$

Velikost průměru D_0 bude zaokrouhlena na 217,8 mm

- b) Vzorce z literatury pro zjednodušený tvar výtažku, dle vztahu (2.3):

$$D_0 = \sqrt{d_3^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)}$$

$$= \sqrt{144^2 + 4 \cdot (61 \cdot 40,5 + 93 \cdot 59,2)} = 229,67 \text{ mm}$$

- c) Grafická metoda pro určení průměru přístřihu (příloha 3).

Poloměr polotovaru určený graficky $R_0 = 112,9 \text{ mm}$, tzn. velikost průměru přístřihu určená graficky je $D_0 = 225,8 \text{ mm}$.

Nejpřesněji vychází výsledek určený z rovnosti objemu, což je způsobeno čerpáním dat přímo z virtuálního modelu součásti. Výsledky dalších metod nejsou vzhledem ke zjednodušování tak přesné. Proto bude dále počítáno s hodnotou $D_0 = 217,8 \text{ mm}$. Podle kapitoly 2.1.2 se musí teoretický průměr přístřihu zvětšit o přídavek na ostřížení. Velikost přídavku závisí na počtu tažných operací.

- Součinitele tažení

Jak je uvedeno v kapitole 2.2.1, určují se součinitele tažení jako tabulková hodnota. Součinitele tažení se stanoví pomocí poměrné tloušťky polotovaru a poměrného průměru příruby.

Poměrná tloušťka polotovaru (2.9):

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{1,5}{217,8} \cdot 100 = 0,688$$

Poměrný průměr příruby:

$$\frac{D_p}{d} = \frac{144}{93} = 1,55$$

Na základě těchto hodnot jsou z tabulek v příloze 1 určeny součinitele tažení (viz tab. 4.).

Tab. 4 Součinitele tažení pro jednotlivé tahy

Součinitel tažení	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Velikost součinitele [-]	0,50	0,76	0,79	0,82	0,84

- Počet tažných operací

a) Určení orientačního počtu tažných operací dle (2.10)

$$n = \frac{\ln(d_n) - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(m_2)} = \frac{\ln(61) - \ln(0,50 \cdot 217,8)}{\ln(0,76)} = 2,112$$

Podle tohoto výpočtu by se dal výtažek o průměru 61 mm vytáhnout jen na 2 tahy, ale nebude takto tažen, neboť výpočet nezohledňuje tvar součásti. Pro vytvoření celého tvaru krytu bude potřeba více tahů.

b) Určení počtu tahů s využitím součinitelů tažení

Počet tahů bude určen s využitím součinitelů tažení pro jednotlivé tažné operace. Součinitel tažení určuje maximální redukci průměru v daném tahu, zároveň bude určen i průměr výtažku v každé tažné operaci.

1. tah: $d_1 = D_0 \cdot m_1 = 217,8 \cdot 0,50 = 108,9 \text{ mm}$

Velikost průměru bude zaokrouhlena na 109 mm

2. tah: $d_2 = 109 \cdot 0,76 = 82,84 \text{ mm}$

Pro dosažení tvaru součásti bude ve druhé operaci vytažen průměr 93 mm. Uskutečnit tento tah lze, pokud není součinitel daného tahu menší než tabulkový (0,76), jelikož $m_2 = 93/109 = 0,853$, lze takto druhou tažnou operaci provést.

3. tah: $93 \cdot 0,79 = 73,4774 \text{ mm}$

Ve třetí tažné operaci bude tažen průměr 74 mm

4. tah: $74 \cdot 0,82 = 60,68 \text{ mm}$

Ve čtvrtém tahu bude vytažen průměr 61 mm, neboť tento rozměr odpovídá vnitřnímu průměru výtažku dle výkresové dokumentace.

Výtažek bude zhotoven celkem ve čtyřech tažných operacích.

- Skutečný průměr přístřihu

Z počtu tažných operací lze určit skutečný průměr přístřihu. Dle normy ČSN 22 7301 se vypočtený průměr přístřihu zvětšuje o přídavek na ostřížení. Přídavek je pro první tažnou operaci 3 % a pro každou další 1 %. Určení průměru přístřihu (2.4):

$$D_{oskut} = D_0 \cdot [1 + 0,03 + (i - 1) \cdot 0,01] = 217,8 \cdot [1,03 + 3 \cdot 0,01] = 230,87 \text{ mm}$$

Výsledný průměr přístřihu navýšený o přídavky na ostřížení tedy bude 231 mm.

- Přepočet počtu tažných operací

Protože došlo přidáním přídavků na ostřížení ke změně velikosti výchozího průměru přístřihu, je potřeba přepočítat velikosti průměrů tažených v jednotlivých operacích a zároveň zkontrolovat, je-li stávající počet tažných operací dostatečný.

1. tah: $d_{1s} = 231 \cdot 0,50 = 115,5 \text{ mm}$

V prvním tahu bude tažen průměr 116 mm.

2. tah: $d_{2s} = 116 \cdot 0,76 = 88,16 \text{ mm}$

Pro dodržení geometrie výtažku bude tažen průměr 93 mm. Jak již bylo dříve uvedeno, lze tento tah uskutečnit, pokud nebude součinitel tahu menší než tabulkový, vzhledem k tomu, že: $m_2 = 93/116 = 0,775$, lze takto táhnout.

3. tah: $d_{3s} = 93 \cdot 0,79 = 73,47 \text{ mm}$

Ve třetím tahu bude vytažen průměr 74 mm

4. tah: $d_{4s} = 74 \cdot 0,82 = 60,68 \text{ mm}$

Ve čtvrtém tahu bude tažen nejmenší průměr výtažku, který je dle výkresu součásti 61 mm. Součást bude zhotovena ve čtyřech tazích z přístřihu o průměru 231 mm.

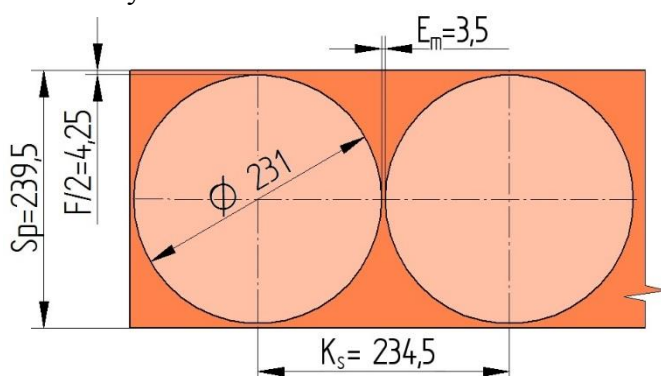
3.2 Nástřihový plán

Výroba přístřihů může být provedena z pruhů plechu nastříhaných z dodané tabule, nebo můžou být přístřihy vystřihovány ze svitku. Bude porovnáno několik možných variant zhotovení přístřihu. Velikost můstku a mezery byla určena pomocí diagramu v příloze 4.

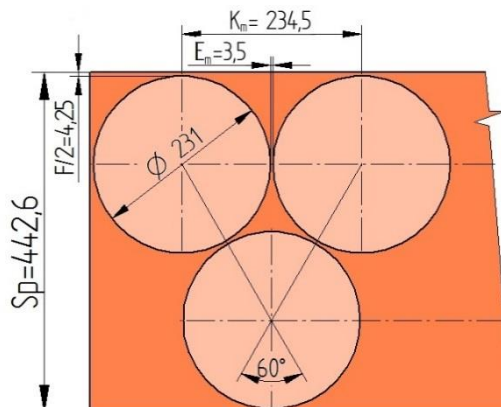
Krok stříhu: $K_s = D_0 + E_m = 231 + 3,5 = 234,5 \text{ mm}$

Šířka pruhu plechu je: $S_p = D_0 + F = 231 + 8,5 = 239,5 \text{ mm}$.

Běžně dodávané tabule plechu oceli DC04 tloušťky 1,5 mm mají rozměry 1000x2000 a 1250x2500, s těmito rozměry bude dále počítáno. Budou porovnány nástřihové plány v jednořadém (obr. 29) a dvouřadém (obr. 30) uspořádání s příčným (obr. 31a) a podélným (obr. 31b) dělením tabulí plechu, další možnosti nebudou vzhledem k rozměrům přístřihu uvažovány.



Obr. 29 Nástřihový plán – jednořadý



Obr. 30 Nástřihový plán - dvouřadý

- a) Tabule plechu 1000x2000 (ŠxL), příčné dělení, jednořadý.

Počet pruhů plechu: $n_p = L/S_p = 2000/239,5$

= 8,35 pruhů

Z tabule lze nastříhat 8 pruhů plechu požadované šířky.

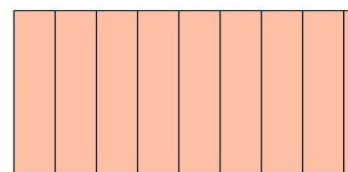
Počet přístřihů z pruhu: $n_{přp} = \check{S}/K_s = 1000/234,5$

= 4,26 přístřihů

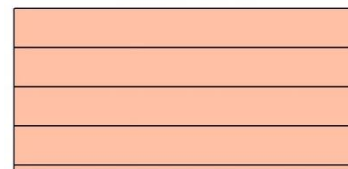
Z jednoho pruhu plechu budou vystřiženy celkem 4 přístřihy.

Počet přístřihů z tabule: $n_{př} = n_p \cdot n_{přp} = 8 \cdot 4 = 32 \text{ ks}$

Využití materiálu:



a) Příčné dělení



b) Podélné dělení

Obr. 31 Dělení tabule plechu

$$\mu_{t1} = \frac{n_{př} \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}}{\check{S} \cdot L} \cdot 100 = \frac{32 \cdot \frac{\pi \cdot 231^2}{4}}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 67,05 \%$$

Využití materiálu tabule plechu pro jednořadý nástřihový plán tabule 1000x2000 dělené příčně je 67,05 %.

- b) Tabule plechu 1000x2000 (ŠxL), podélné dělení, dvojřadý.

Vzdálenost přístřihů v horní i spodní řadě odpovídá můstku E_m i ve dvouřadém nástřihovém plánu, šířka pruhu plechu byla určena podle obr. 30 a je $S_p = 442,6 \text{ mm}$.

Počet pruhů plechu: $n_p = \check{S}/S_p = 1000/234,5 = 2,2 \text{ pruhů}$

Z tabule lze nastříhat 8 pruhů plechu požadované šířky.

Počet přístřihů z pruhu: $n_{přp} = L/K_s = 2000/234,5 = 8,52$ přístřihů

Z jednoho pruhu plechu budou vystřiženy celkem $8+7=15$ přístřihů, rozmístění je uvedeno na obr. 30.

Počet přístřihů z tabule: $n_{př} = n_p \cdot n_{přp} = 2 \cdot 15 = 30$ ks

Využití materiálu:

$$\mu_{t2} = \frac{n_{př} \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}}{\check{S} \cdot L} \cdot 100 = \frac{30 \cdot \frac{\pi \cdot 231^2}{4}}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 62,86 \%$$

Další varianty příčného a podélného dělení v nástřihovém plánu jednořadém nebo dvouřadém byly spočteny analogicky. Výsledná využití materiálu a počty přístřihů z jednotlivých variant jsou v tabulce 4.



Obr. 32 Svitek plechu [15]

- c) Svitek plechu (obr. 32) bude dodaný v šířce $S_s = 240$ mm, přístřihy budou vystřihovány v jedné řadě s krokem a můstkem stejnými jako v předchozích variantách. Využití svitku se určuje podle kroku a stříhané plochy.

$$\mu_s = \frac{\frac{\pi \cdot D_0^2}{4}}{S_s \cdot K_s} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot 231^2}{4}}{240 \cdot 234,5} \cdot 100 = 74,46 \%$$

Tab. 4 Přehled využití materiálu

Rozměr tabule [mm]	Střih	Dělení tabule	Využití materiálu	Počet přístřihů
1000x2000	jednořadý	příčné	67,05 %	32
		podélné	67,05 %	32
	dvouřadý	příčné	54,48 %	26
		podélné	50,29 %	30
1250x2500	jednořadý	příčné	67,05 %	50
		podélné	67,05 %	50
	dvouřadý	příčné	60,34 %	45
		podélné	50,96 %	38
Svitek	jednořadý		74,46 %	-

Z jednotlivých variant vychází nejlépe využití materiálu při vystřihování přístřihů ze svitku plechu 74,46 %. Při použití svitku plechu jsou však potřeba odvíjecí a rovnací zařízení zařazená před stroj vystihující přístřihy. Je uvažováno, že tato zařízení nejsou ve výrobě k dispozici a musela by pro tuto výrobu být pořízena, úspora na ceně materiálu není taková, aby se zakoupení extra vybavení vyplatilo. Proto budou přístřihy zhotoveny z tabule 1250x2500 v nástřihovém plánu jednořadém a pro menší počet stříhů a méně pruhů bude tabule dělena podélně (obr. 31b).

3.3 Výpočty tažení

Nyní je potřeba určit potřebu použití přidržovače, tažnou mezeru, poloměry zaoblení tažných hran, rozměry nástrojů, velikosti sil a práci lisu, výpočty těchto technologických parametrů jsou následující:

- Určení nutnosti použití přídržovače
 - a) ČSN 22 7301 (výpočty 2.11, 2.12 a 2.13):

$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt[3]{231}} \right) = 85,02$$

1. tah: Přídržovač je nutný, platí-li podmínka $\alpha \geq 100 \cdot d/D_0$.

$$\frac{100 \cdot d}{D_0} = \frac{100 \cdot 117}{231} = 50,22 \rightarrow \text{přídržovač je nutný}$$

V dalších tazích je přídržovač nutný, pokud: $d_n/d_{n-1} < 0,9$.

2. tah: $93/116 = 0,802$ Přídržovač je nutný.

3. tah: $74/93 = 0,796$ Přídržovač je nutný.

4. tah: $61/74 = 0,824$ Přídržovač je nutný.

b) Freidling:

$$\Delta s = \frac{s}{D_0} \cdot 100 = \frac{1,5}{233} \cdot 100 = 0,644$$

Dle kap. 2.2.2 pokud je $\Delta s < 1,5$, je přídržovač potřebný.

c) Šofman (2.14):

Táhnout bez přídržovače lze, pokud je splněna podmínka: $D_0 - d \leq 18 \times t$.

$$233 - 116 \leq 18 \cdot 1,5 \text{ takže } 115 > 27 - \text{přídržovač je nutný}$$

Jednotlivé varianty určení potřeby přídržovače jsou u prvního tahu ve shodě, přídržovač je nutný. Pro další tahy vystačí určení potřeby přídržovače dle ČSN, i zde budou přídržovače potřebné. Přídržovač bude použit u všech tahů.

- Velikost tažné mezery

a) ČSN 22 7301 (2.15, 2.16):

Pro 1.tažnou operaci: $z_1 = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot 1,5 = 1,8 \text{ až } 1,95 \text{ mm}$

Pro další tažné operace: $z_2 = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot 1,5 = 1,65 \text{ až } 1,8 \text{ mm}$

b) Oehler (výpočet 2.18):

$$z = s_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} = 1,61 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,5} = 1,88 \text{ mm}$$

Pro výpočet je uvažována maximální tloušťka plechu s_{\max} dle tolerance $\pm 0,11 \text{ mm}$.

Velikost tažné mezery bude zvolena dle hodnot určených pomocí výpočtu podle normy ČSN 22 73 01, pro první tah 1,9 mm a pro další tahy 1,75 mm.

- Poloměry zaoblení tažných hran

1) Tažnice (2.25 a 2.26):

$$1. \text{ tah: } R_{te1} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s} = 0,8 \cdot \sqrt{(231 - 116) \cdot 1,5} = 10,51 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení pro první tah bude: $R_{te1} = 11 \text{ mm}$

$$2. \text{ tah: } R_{te2} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot R_{te1} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot 11 = 6,6 \text{ až } 8,8 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení ve druhém tahu bude upraven pro získání geometrie součásti dle výkresu. Ve druhém tahu bude $R_{te2} = 6 \text{ mm}$

$$3. \text{ tah: } R_{te3} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot R_{te2} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot 6 = 3,6 \text{ až } 5,8 \text{ mm}$$

Rádus zaoblení tažnice ve třetím tahu bude: $R_{te3} = 4,5 \text{ mm}$

$$4. \text{ tah: } R_{te4} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot R_{te3} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot 4,5 = 2,7 \text{ až } 3,6$$

Pro poslední tah bude $R_{te4} = 4 \text{ mm}$.

Ve třetím a čtvrtém tahu bude tažnice kuželovitá, aby mohl být použit kuželovitý přídržovač a zároveň v případě čtvrtého tahu byl dodržen tvar součásti.

- 2) Tažník: Dle tabulky 3.4 se výpočet zaoblení tažné hrany tažníku určí pomocí poměrné tloušťky polotovaru. Pokud je $\Delta s > 0,6$, je velikost poloměru zaoblení tažníku shodná se zaoblením tažnice. Vzhledem k tomu, že $\Delta s = 0,644$, platí: $R_{tk} = R_{te}$.

Jelikož je potřeba táhnout s přidržovačem, který bude kuželovitý, bude ve druhé a třetí tažné operaci tažník kuželovitě upraven. Rádus v prvním tahu $R_{tk1} = 11 \text{ mm}$, v posledním tahu bude: $R_{tk4} = 4 \text{ mm}$, velikost poloměru pro čtvrtý tah odpovídá výkresu součástí.

- Rozměry tažníku a tažnice

Průměr tažníku odpovídá vnitřnímu průměru výtažku. Průměr tažnice se určí úpravou vztahu (2.14) z průměru tažníku a velikosti tažné mezery.

a) Tažník – rozměry jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Rozměry tažníků

Tažník	D_{tk1}	D_{tk2}	D_{tk3}	D_{tk4}
Rozměr [mm]	116	93	74	63

b) Tažnice:

$$1. \text{ tah: } D_{te1} = D_{tk1} + 2 \cdot z_1 = 116 + 2 \cdot 1,9 = 119,8 \text{ mm}$$

$$2. \text{ tah: } D_{te2} = D_{tk2} + 2 \cdot z_2 = 96 + 2 \cdot 1,75 = 96,5 \text{ mm}$$

$$3. \text{ tah: } D_{te3} = D_{tk3} + 2 \cdot z_2 = 74 + 2 \cdot 1,75 = 77,5 \text{ mm}$$

$$4. \text{ tah: } D_{te4} = D_{tk4} + 2 \cdot z_2 = 61 + 2 \cdot 1,75 = 74,5 \text{ mm}$$

- Rozměry výtažku

Průměry dosažené v jednotlivých tazích byly určeny pomocí součinitelů tažení. Změna nastává pouze u průměru příruby výtažku, který bude vlivem přídavku na ostřížení větší. Průměr příruby se vytvoří již v prvním tahu a dále zůstává neměnný, bude určen na základě rozdílu objemů výtažku a přístřihu s přídavkem určených pomocí 3D modelů:

$$D_{pv} = \sqrt{\frac{4 \cdot (V_0 - V)}{\pi \cdot s} + d_p^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot (62864,45 - 55855,33)}{\pi \cdot 1,5} + 144^2} = 163,36 \text{ mm}$$

Na základě rovnosti objemů přístřihu a výtažku a znalosti geometrie výtažku byla, za využití programu Solid Edge, určena orientační výška výtažku v jednotlivých operacích (tab. 6).

Tab. 6 Rozměry výtažku

Tažná operace	1.	2.	3.	4.
Průměr výtažku d [mm]	116	93	74	63
Přibližná výška výtažku h [mm]	66	76	89	100

- Síla a práce

Tažná síla se dle kap. 2.3 určuje jako kritická síla, při které dojde k utržení dna (2.20). Hodnota součinitele C je určena dle tab. 2 podle součinitelů tažení příslušných operací. Určení tažných sil bude provedeno pro jednotlivé tahy. Mez pevnosti v tahu materiálu DC04 je výrobcem uváděna v rozsahu $R_m = 270 - 350 \text{ MPa}$ (tab. 1), pro výpočet bude použita maximální hodnota $R_m = 350 \text{ MPa}$, neboť je pro určení potřebné tažné síly nutné uvažovat největší možnou pevnost materiálu.

a) Určení tažných sil (2.21):

$$F_{k1} = C_1 \cdot \pi \cdot D_{tk1} \cdot s \cdot R_m = 1,0 \cdot \pi \cdot 116 \cdot 1,5 \cdot 350 = 191322,98 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
F_{k2} &= 0,9 \cdot \pi \cdot 93 \cdot 1,5 \cdot 350 = 138049,43 \text{ N} \\
F_{k3} &= 0,8 \cdot \pi \cdot 74 \cdot 1,5 \cdot 350 = 97640,70 \text{ N} \\
F_{k4} &= 0,7 \cdot \pi \cdot 61 \cdot 1,5 \cdot 350 = 70426,65 \text{ N} \\
F_k &= F_{k1} + F_{k2} + F_{k3} + F_{k4} = \\
&= 191322,98 + 138049,43 + 97640,7 + 70426,65 = 497439,77 \text{ N}
\end{aligned}$$

- b) Přidržovací síla – vypočítá se podle (2.22), z plochy, na které působí přidržovací síla, a přidržovacího tlaku. Měrný přidržovací tlak pro tažení oceli byl zvolen 2,3 MPa.

Určení přidržovacích sil:

$$\begin{aligned}
F_{P1} &= S_{C1} \cdot p = \left(\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D_{te1} + 2 \cdot R_{te1})^2}{4} \right) \cdot p \\
&= \left(\frac{\pi \cdot 231^2}{4} - \frac{\pi \cdot (119,8 + 2 \cdot 10)^2}{4} \right) \cdot 2,3 = 61087,49 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$F_{P2} = S_{C2} \cdot p = \left(\frac{\pi \cdot 116^2}{4} - \frac{\pi \cdot 93^2}{4} \right) \cdot 2,3 = 8683,44 \text{ N}$$

$$F_{P3} = S_{C3} \cdot p = \left(\frac{\pi \cdot 93^2}{4} - \frac{\pi \cdot 74^2}{4} \right) \cdot 2,3 = 5731,76 \text{ N}$$

$$F_{P4} = S_{C4} \cdot p = \left(\frac{\pi \cdot 74^2}{4} - \frac{\pi \cdot 61^2}{4} \right) \cdot 2,3 = 3170,26 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
F_P &= F_{P1} + F_{P2} + F_{P3} + F_{P4} = \\
&= 61087,49 + 8683,44 + 5731,76 + 3170,26 = 78672,95 \text{ N}
\end{aligned}$$

- c) Celková síla – určí se dle (2.23):

$$F_C = F_k + F_P = 497439,77 + 78672,95 = 576112,72 \text{ N}$$

Celková potřebná síla je zaokrouhlena na 576,1 kN, a následně pro zohlednění bezpečnosti zvětšena o 30 %:

$$F_C = 576,1 \cdot 1,3 = 748,93 \text{ kN}$$

Následně zvolený lis musí mít jmenovitou sílu větší než 749 kN.

- d) Práce – je dána celkovou silou v tažné operaci a hloubkou tažení. Velikost práce lisu se vypočte podle vztahu (2.24). Součinitel c, vyjadřující rozdíl od skutečného průběhu tažné síly, je v rozsahu c = 0,6 až 0,8. Pro výpočet bude zvoleno c = 0,7.

Práce lisu v jednotlivých tazích:

$$\begin{aligned}
A_1 &= \frac{c \cdot (F_{k1} + F_{P1}) \cdot h_1}{1000} = \frac{0,7 \cdot (191322,98 + 61087,49) \cdot 66}{1000} = 11661,36 \text{ J} \\
A_2 &= \frac{0,7 \cdot (138049,44 + 8683,44) \cdot 76}{1000} = 7806,19 \text{ J} \\
A_3 &= \frac{0,7 \cdot (97640,7 + 5731,76) \cdot 89}{1000} = 6440,12 \text{ J} \\
A_4 &= \frac{0,7 \cdot (70426,65 + 3170,26) \cdot 100}{1000} = 5151,78 \text{ J}
\end{aligned}$$

Celková práce vykonaná lisem v jednom zdvihu:

$$\begin{aligned}
A &= A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 11661,36 + 7806,19 + 6440,12 + 5151,78 \\
&= 31059,45 \text{ J}
\end{aligned}$$





Výsledná tažná práce, kterou lis vykoná při využití postupového nástroje v jednom zdvihu, je po zaokrouhlení 31,06 kJ.

3.3 Návrh postupu výroby

Podle provedených technologických výpočtů bude výtažek zhotoven ve čtyřech tažných operacích. Postup tažení je i se schématickým vyobrazením jednotlivých tahů zobrazen v tabulce 7. Jak uvádí například [6], je po třetí tažné operaci obvykle nutné rekrytalizační žíhání, to ale nebude vzhledem k volbě součinitelů tažení (konkrétně volbě vyššího než minimálního součinitele ve druhé operaci) do procesu zařazeno.

Tažné operace budou pro co nejkratší výrobní časy, vzhledem k velikosti výrobní série, realizovány v rámci jednoho pracoviště na jednom stroji v postupovém tažném nástroji. Před zahájením výroby bude vyrobena zkušební série pro ověření správnosti nastavení procesu tažení.

Tab. 7 Postup jednotlivých tahů

Pořadí tahu	Zobrazení tahu	Průměr [mm]	Výška [mm]
1.		117	66
2.		93	76
3.		74	89
4.		61	100

Jak bylo rozhodnuto při určování využití materiálu, budou přístřihy pro tažení zhotoveny vystřížením z pruhů plechu dělených ze zakoupené tabule plechu. Celý proces výroby zahrnuje dělení tabule plechu, zhotovení polotovaru (vystříhnutí), samotné tažení, dále ostřížení příruby a děrování otvorů pro upevnění součásti a na závěr výstupní kontrolu výrobku.

Pro snížení tření a snížení možnosti zadírání plechu bude na polotovar z jedné strany (strana tažnice) nanесena vrstva maziva. Bude použit olej německé firmy Molyduval. Konkrétně olej MOLYDUVAL Moralub KFP 11. Použití tohoto oleje je výrobcem podle [4] doporučováno pro hluboké tažení ocelových plechů s nízkým obsahem uhlíku. KFP 11 je olej se střední viskozitou. Produktový list je v příloze 5.

3.4 Volba stroje [29]

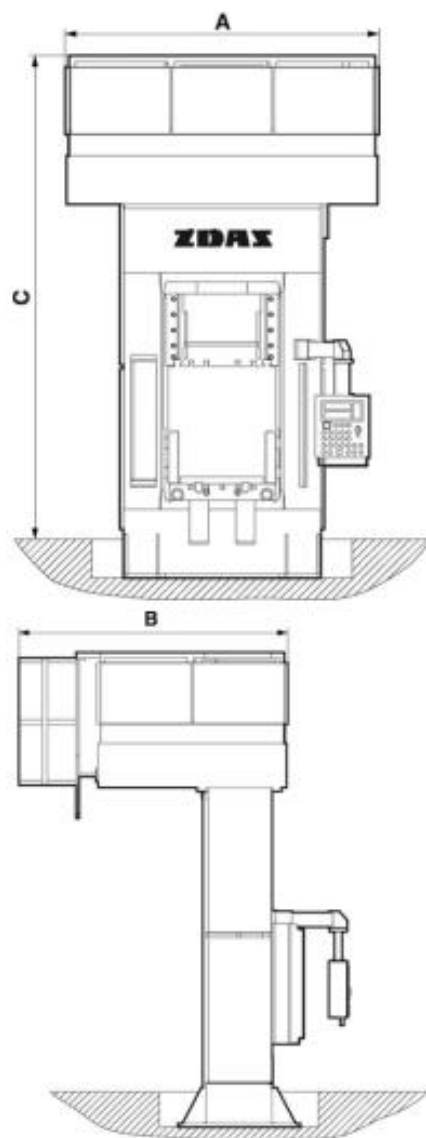
Základním parametrem pro volbu stroje je jmenovitá tvářecí síla, lis bude zvolen podle vypočtené potřebné tažné síly. Dalšími podstatnými parametry lisu jsou vybavenost lisu a vlastní řešení kinematiky pohonu. Stroj musí mít dostatečný zdvih pro provedení tvářecí operace a prostor pro upnutí nástroje v desce stolu i v beranu.

Pro tažení zadané součásti bude použit hydraulický dvojčinný lis. Tomu odpovídá lis CTH z produkce společnosti ŽĎAS, a.s. Hydraulický univerzální lis CTH 250 je určen pro objemové i plošné tváření, jmenovitá síla lisu je 2500 kN. Velká tuhost stojanu umožňuje provádění široké řady tvářecích operací. Lis může být vybaven horním a spodním vyhazovačem, zařízením pro automatickou výměnu nástrojů, upínkami a dalším speciálním vybavením. Lis je svislé konstrukce se svařovaným stojanem uzavřené skříňové konstrukce. V horním příčníku je umístěn dvojčinný pracovní válec. Beran lisu je vybaven aretací v horní poloze a je veden v kluzném vedení. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 8. Schématické zobrazení lisu je na obrázku 33. Produktový lis výrobce je v příloze 6. Hydraulický lis je volen z důvodu konstantní, snadno nastavitelné tvářecí rychlosti.

Celková potřebná síla byla určena v kap. 3.1 a je 791,05 kN. Zvolený lis této síle vyhovuje a navíc má dostatečnou rezervu. Zdvih lisu je pro tažení zadané součásti dostatečný, ověření vhodnosti upínacích rozměrů beranu a lisu bude provedeno dále při návrhu nástroje.

Tab. 8 Parametry stroje CTH 250 [29]

Jmenovitá síla	[kN]	2500
Zpětná síla	[kN]	300
Sevření	[mm]	800
Zdvih	[mm]	800
Rychlost přibližovací	[mm. s ⁻¹]	400
Rychlost pracovní max.	[mm. s ⁻¹]	70
Rychlost pracovní min.	[mm. s ⁻¹]	20
Upínací plocha stolu	[mm]	1000x1250
Upínací plocha beranu	[mm]	1000x1250
Síla přidržovače	[kN]	1000
Zdvih přidržovače	[mm]	320
Síla vyhazovače	[kN]	100
Zdvih vyhazovače	[mm]	300
Půdorys lisu AxB	[mm]	3920x3000
Výška lisu	[mm]	5600

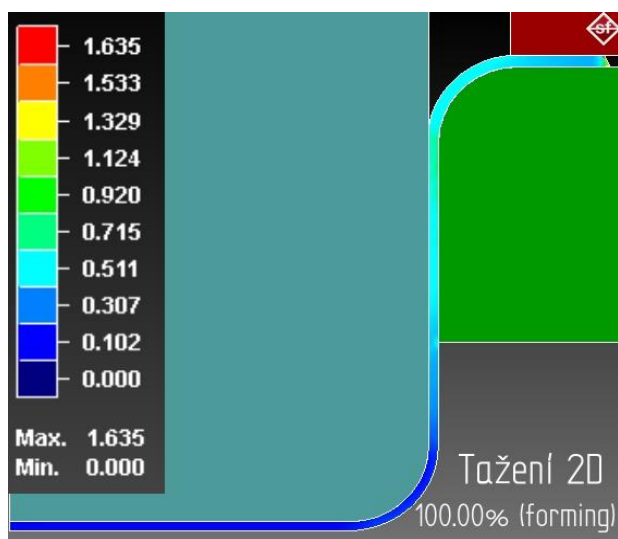


Obr. 33 Náskres lisu CTH [29]

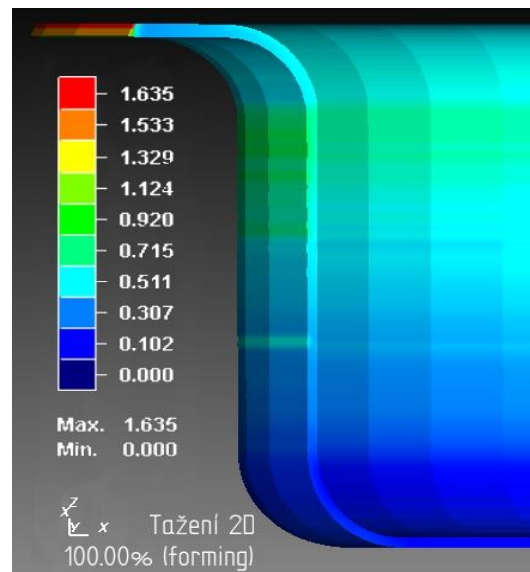
3.5 Simulace tažení

Pro získání přesnější představy o průběhu tažení a pro ověření navržených technologických parametrů tahu byla provedena simulace prvního tahu v programu Simufact.forming 12.0. Do programu byla importována základní geometrie nástrojů vytvořených v programu Solid Edge.

Průměr tažníku, tažnice a poloměr zaoblení odpovídají dříve určeným hodnotám. V simulaci bylo vzhledem k potřebě mazání uvažováno na straně tažnice nižší tření než na přidržovači a tažníku. Nastavenými parametry průběhu tažení byla rychlost tažení na hydraulickém lise, která byla $11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, teplota polotovaru a nástrojů 20°C a přidržovací síla odpovídající měrnému tlaku $2,3 \text{ MPa}$. Vzhledem k rotačnímu osově symetrickému tvaru výtažku byla provedena 2D simulace, zredukovaná na polovinu geometrie, výsledky odpovídají celému výtažku.

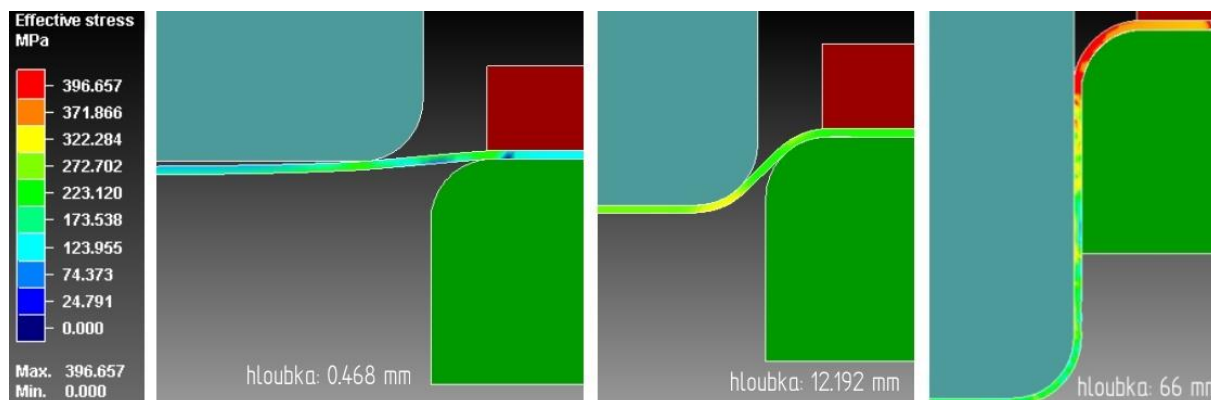


Obr. 34 Plastická deformace stěny výtažku



Obr. 35 Rozšíření 2D výsledků

Plastická deformace stěn je zobrazena na obrázku 34, ze kterého je patrné, že na poloměru zaoblení tažnice dochází ke ztenčení stěny, naopak v okraji příruby dochází k malému pěchování materiálu vlivem tlaku přidržovače na přírubu. Lépe viditelný průběh deformace stěny je na obrázku 35, na kterém jsou výsledky 2D simulace pro lepší viditelnost rozšířeny na celý výtažek. Deformace vzniklá na zaoblení tažnice přechází do stěny výtažku, kde dosahuje největších hodnot.

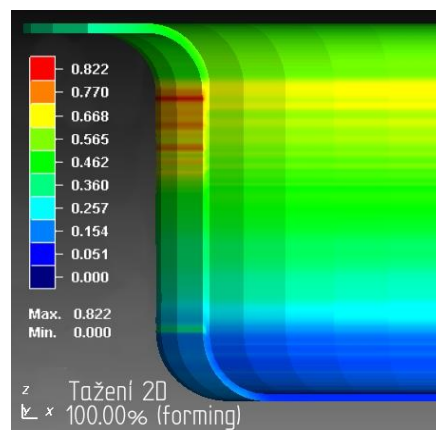


Obr. 36 Velikost napětí ve výstřižku během simulace

Zobrazení intenzity efektivního napětí dle HMM v průřezu výtažku je na obrázku 36, jsou zde postupně čtyři snímky průběhu tažení při rostoucí hloubce výtažku. Stupnice v levé části obrázku je společná pro všechny snímky.

Vzhledem k velké deformaci stěny výtažku (změna tloušťky) byla provedena korekce tlaku přidržovače. Druhá simulace proběhla za nastaveného měrného tlaku přidržovače 2,1 MPa, ostatní podmínky zůstaly nezměněny. Výsledek je zobrazen na obrázku 37. Při sníženém tlaku přidržovače je maximální deformace stěny výtažku takřka dvakrát menší, v přírubě nedochází k tak výraznému pěchování a ztenčení stěn se také zmenšilo.

Z těchto důvodů bude pro tažení zvolen měrný tlak přidržovače 2,1 MPa.

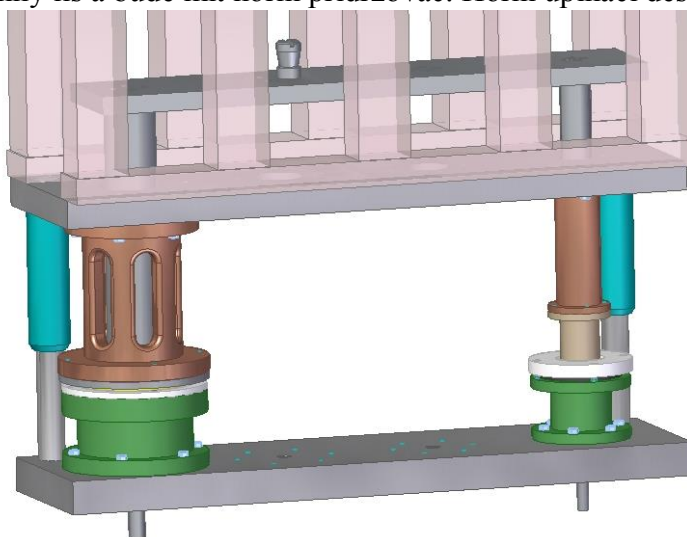


Obr. 37. Deformace stěn výtažku

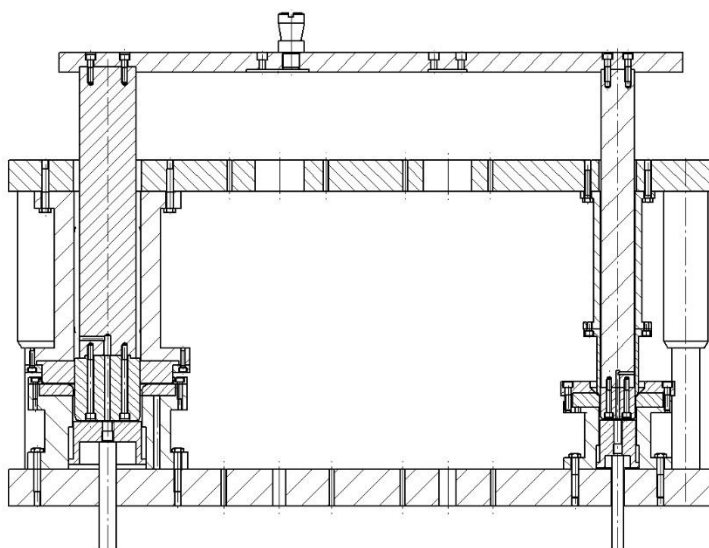
3.6 Nástroj

Tažení bude realizováno v postupovém tažném nástroji, který bude zkonstruován jako modulární se čtyřmi samostatnými tažidly umístěnými na společné základové desce (obr. 38). Nástroj je navržen na dvojčinný lis a bude mít horní přidržovač. Horní upínací deska bude upnuta pomocí upínek k vymezovacímu svařenci, který slouží k vyrovnání nižšího zdvihu beranu přidržovače. Upínací deska, ve které jsou připevněny tažníky, je upnuta pomocí stopky do hlavního beranu lisu. Stopka je do upínací desky našroubována. Základová deska ležící na stole lisu bude připevněna upínkami na stole lisu.

Vystředění a vedení nástroje zajišťují dva vodící sloupky o průměru 60 mm, které jsou zalisované v základové desce, v upínací desce jsou vedeny vodícími pouzdry pro kluzné vedení. Vyhazovače jednotlivých tažidel budou ovládány hydraulicky za využití mechanismu lisu. Délka nástroje je 1250 mm a šířka 380 mm. Sevření odpovídá sevření lisu, které má velikost 800 mm, zdvih nástroje odpovídá zdvihu lisu. Řez tažným nástrojem je na obrázku 39. Konstrukčně řešeno bylo tažidlo pro první a čtvrtý tah, konstrukční řešení pro druhý a třetí tah by bylo obdobné. Výkresová dokumentace byla zpracována pro tažidlo prvního tahu, jehož konstrukce bude podrobněji rozebrána.



Obr. 38 Konstrukce tažného nástroje



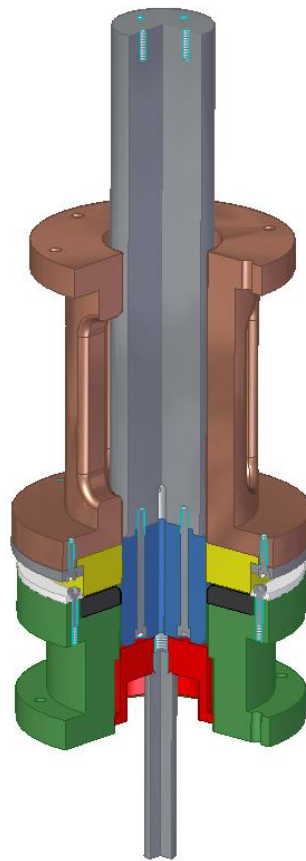
Obr. 39 Sestava postupového tažného nástroje

3.6.1 Konstrukce tažidla pro první tah

Nástroj (obr. 40) provádějící první tažnou operaci je konstrukčně řešený jako tažidlo samostatně upnutelné na dvojčinný lis. Jeho hlavní části jsou tažník, tažnice a přidržovač. Výkres sestavy BP-02-153406 je v příloze.

Jednotlivé části tažidla a jejich konkrétní popis:

- Tažnice je vyrobena z nástrojové oceli 19 436 kalené na HRC 58. Je upnuta pomocí základacího kroužku v základové desce tažidla. Výkres tažnice BP-03-153406 je v příloze.
- Základací kroužek (ocel 11 600) je opatřený zkosením pro vystředění zakládaného přístřihu. K základové desce je připevněn čtyřmi šrouby M8.
- Tažník je vyroben (výkres BP-04-153406) z oceli 19 436 a je kalený na tvrdost HRC 58. Jeho činná část je připevněna k tělu (ocel 11 600) pomocí čtyř šroubů M10, tažník je upevněn do upínací desky nástroje čtyřmi šrouby. V ose tažníku je vyvrtán otvor sloužící k zavzdušnění prostoru výtažku.
- Přidržovač (ocel 19 191) je na upínací desku upevněn upínacím kroužkem, který je přišroubován čtyřmi šrouby M8.
- Upínací kroužek vyrobený z oceli 11 600 je opatřený čtyřmi dírami se zahlobením sloužícími k připevnění šrouby na upínací desku.
- Vyhazovač (ocel 11 600) umístěný v ose nástroje je uložen v základové desce, jeho pohyb je zajišťován přišroubovanou tyčí.
- Základová deska z litiny 42 2456 je opatřena šesti otvory pro šrouby M15 se šestihlannou hlavou, které ji připevňují k hlavní základně nástroje.
- Upínací deska tažidla je vyrobena jako odlitek z litiny 42 2456 a je k hlavní upínací desce nástroje, obdobně jako deska základová, přišroubována šesti šrouby.



Obr. 40 Tažidlo pro 1. tah

3.6.2 Konstrukční výpočty

Bude určena poloha stopky nástroje sloužící pro upnutí upínací desky tažníků do hlavního beranu lisu. Navržený tažný nástroj je potřeba zkontrolovat z pevnostního hlediska, tažník bude kontrolován na vzpěr, nesmí dojít k jeho vybočení.

- Poloha stopky

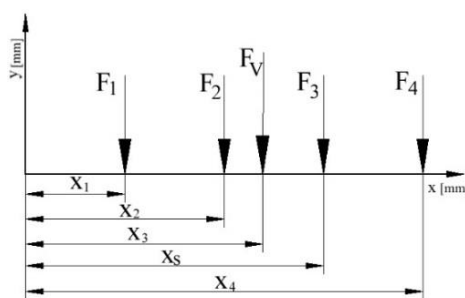
Stopka musí být umístěna v těžišti sil. Při určení polohy stopky se vychází z určování polohy výslednice sil (obr. 41).

$$x_s = \frac{x_1 \cdot F_{k1} + x_2 \cdot F_{k2} + x_3 \cdot F_{k3} + x_4 \cdot F_{k4}}{F_{k1} + F_{k2} + F_{k3} + F_{k4}}$$

$$x_s = \frac{85 \cdot 191322,98 + 385 \cdot 138049,44 + 685 \cdot 97640,7 + 985 \cdot 70426,65}{191322,98 + 138049,44 + 97640,7 + 70426,65} =$$

$$= 408,86 \text{ mm}$$

Stopka bude umístěna v ose tažníků, ve vzdálenosti 408,8 mm od kraje upínací desky.



Obr. 41 Těžiště sil

- Kontrola na vzpěr [18]

Výpočtem bude ověřena velikost kritické síly:

$$F_{V_{krit}} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 116^4}{4}}{600^2} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Tažník vyhovuje, pokud je kritická tažná síla daného tahu F_{t1} zvětšená o bezpečnost (koeficient bezpečnosti pro ocel $k_v = 4$ až 5), menší než síla na mezním stavu vzpěrné stability. To znamená, že musí být splněna pevnostní podmínka: $k_v \cdot F_{k1} < F_{V_{krit}}$, vzhledem k tomu, že:

$$5 \cdot 191322,98 < 1,2 \cdot 10^6$$

$$9,56 \cdot 10^5 < 1,2 \cdot 10^6$$

Je pevnostní podmínka splněna, tážník vyhovuje.

- Kontrola na otlačení

Upínací plocha tážníku má průměr 80 mm, těleso tážníku je z oceli 11 600 ($\sigma_{dov} = 153 \text{ MPa}$).

$$p_t = \frac{F_k}{\frac{\pi \cdot D_u^2}{4}} = \frac{191323}{\frac{\pi \cdot 80^2}{4}} = 38,06 \text{ MPa}$$

Jelikož $p_t < \sigma_{dov}$, tážník vyhovuje.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Navrženou technologii výroby je nezbytné posoudit z ekonomického hlediska. Ekonomické zhodnocení bude provedeno na základě výpočtu výrobních nákladů. Samotné zhodnocení slouží k posouzení realizovatelnosti projektu. Orientačně budou stanoveny některé variabilní (závislé na objemu výroby) a fixní (nezávislé) náklady. Kalkulace bude provedena pro zadanou sérii 10000 ks na základě navržených parametrů a dostupných informací.

- Variabilní náklady

Výdaje přímo závislé na počtu vyráběných kusů, patří sem například cena spotřebovaného materiálu, mzdy pracovníků nebo výdaje za elektrickou energii spotřebovanou výrobním zařízením. Uvažované přímé náklady jsou následující:

- Náklady na materiál

Cena materiálu pro výrobu součásti bude určena na základě spotřeby materiálu a uvažované ceny za kilogram tabule materiálu (tab. 9). Pořizovací a prodejní cena materiálu byly zvoleny.

Tab. 9 Uvažované hodnoty materiálových výdajů

Materiál			Ocel DC04
Tabule plechu	Š	[mm]	1250
	L	[mm]	2500
	s	[mm]	1,5
Přístřihů z tabule	i_p	[ks]	50
Využití tabule	μ	[-]	0,671
Hustota oceli	ρ	[kg.m ⁻³]	7850
Velikost výrobní série	Q	[ks]	10000
Pořizovací cena materiálu	p_{kg}	[Kč/kg]	23,2
Prodejní cena odpadu	p_{okg}	[Kč/kg]	3,7

Objem tabule plechu:

$$V_t = \dot{S} \cdot D \cdot s = 1250 \cdot 2500 \cdot 1,5 = 4,6875 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Hmotnost tabule plechu:

$$m_t = V_t \cdot \rho = 4,6875 \cdot 10^{-3} \cdot 7850 = 36,8 \text{ kg}$$

Počet tabulí plechu:

$$i_{tab} = \frac{Q}{i_p} = \frac{10000}{50} = 200 \text{ ks}$$

Spotřeba materiálu:

$$m_{tc} = m_t \cdot i_{tab} = 36,8 \cdot 200 = 7360 \text{ kg}$$

Hmotnost odpadu:

$$m_o = m_{tc} \cdot (1 - \mu) = 7360 \cdot (1 - 0,671) = 2421,44 \text{ kg}$$

Cena spotřebovaného materiálu:

$$I_m = m_{tc} \cdot p_{kg} = 7360 \cdot 23,2 = 170752 \text{ Kč}$$

Zisk z prodeje odpadu:

$$P_o = m_o \cdot p_{okg} = 2421,44 \cdot 3,7 = 8959,33 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na materiál:

$$N_m = I_m - P_o = 170752 - 8959,33 = 161792,67 \text{ Kč}$$

- Mzdové náklady

Pro výpočet přímých mzdových nákladů bude vypočten celkový čas výroby. Vzhledem ke zpracovanému návrhu pouze technologie tažení budou mzdy spočteny jen pro pracovníky zajišťující tuto operaci, výroba přístřihů a další operace budou zanedbány.

Uvažované časy, mzdový tarif a výrobní kapacita lisu jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 Hodnoty pro určení mzdových nákladů

Délka směny	t_s	[h]	8
Přestávka	t_p	[h]	0,5
Přípravný čas	$t_{př}$	[h]	0,5
Kontrolní čas	t_k	[h]	0,25
Mzdový tarif	M_t	[Kč]	120
Výrobní kapacita lisu	Q_{hl}	[ks/hod]	150

Výrobní čas během jedné směny:

$$t_h = t_s - t_p - t_{př} - t_k = 8 - 0,5 - 0,5 - 0,25 = 6,75 \text{ h}$$

Počet kusů za směnu:

$$Q_s = t_h \cdot Q_{hl} = 6,75 \cdot 150 = 1012 \text{ ks}$$

Počet směn:

$$n_s = \frac{Q}{Q_s} = \frac{10000}{1012} = 9,9 \text{ směn}$$

Mzdové náklady:

$$N_{mz} = n_s \cdot t_s \cdot M_T = 10 \cdot 8 \cdot 120 = 9600 \text{ Kč}$$

- Náklady na energie:

Budou určeny podle příkonu lisu a aktuální orientační ceny elektřiny (tab. 11).

Tab. 11 Elektrická energie

Cena elektrické energie	p_E	[Kč/kWh]	4,83
Příkon stroje	P	[kW]	55

Výrobní čas celkem:

$$t_c = t_h \cdot n_s = 6,75 \cdot 10 = 67,5 \text{ h}$$

Náklady na elektrickou energii:

$$N_e = P \cdot t_h \cdot p_E = 55 \cdot 67,5 \cdot 4,83 = 17931,4 \text{ Kč}$$

- Celkové variabilní náklady:

$$N_V = N_m + N_{mz} + N_e = 161790,67 + 9600 + 17931,4 = 189322,1 \text{ Kč}$$

- Fixní náklady

Nezávisí na objemu výroby, vznikají, i pokud žádná výroba neprobíhá. Z velkého množství nezávislých výdajů bude vzhledem k omezeným informacím uvažována pouze cena za zhotovení tažného nástroje ($N_F = N_n$).

- Náklady na nástroje

Výdaje na zhotovení nástroje byly stanoveny odhadem. Pro zjištění skutečné ceny bylo nutné uvažovat aktuální ceny polotovarů a výrobní náklady nástrojárny.

$$N_n = 160000 \text{ Kč}$$

- Souhrn nákladů a cena výrobku

Součtem všech nákladů na výrobu určíme celkové náklady. Bude vypočtena výrobní cena jednoho výrobku a po připočtení žádaného zisku bude stanovena prodejní cena výtažku.

- Celkové náklady:

$$N_C = N_m + N_{mz} + N_e + N_n$$

$$= 161790,67 + 9600 + 17931,4 + 160000 = 349322,1 \text{ Kč}$$

Celkové výdaje na výrobu jsou 349323 Kč.

- Variabilní náklady na jeden výtažek:

$$N_{vv} = \frac{N_V}{Q} = \frac{189322,1}{10000} = 18,93 \text{ Kč}$$

- Celkové náklady na výrobu jednoho výtažku:

$$N_{vc} = \frac{N_C}{Q} = \frac{349323}{10000} = 34,93 \text{ Kč}$$

- Cena jednoho výrobku:

K výrobní ceně jednoho výtažku plynoucí z nákladů na výrobu je nutné připočítat požadovanou marži, která činí 20% z výrobních nákladů na jeden kus.

$$P_v = N_v \cdot 1,20 = 34,93 \cdot 1,20 = 41,92 \text{ Kč}$$

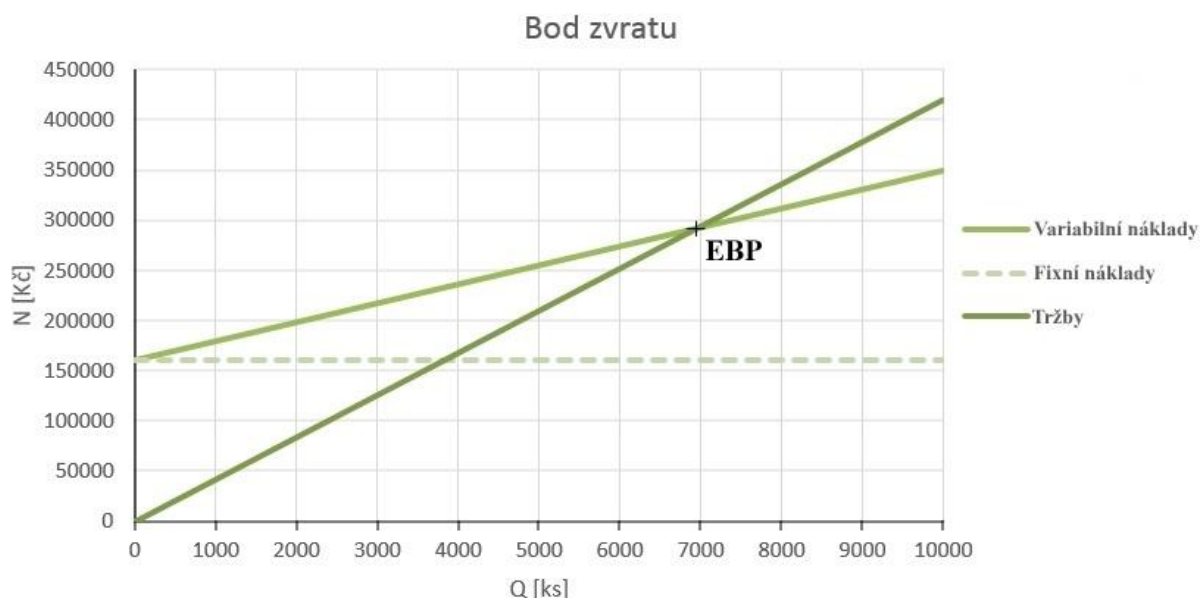
Reálná cena výrobku by byla vyšší, neboť některé náklady nebyly zahrnuty, protože nejsou známy, proto je tato cena pouze orientační.

- Stanovení bodu zvratu

Tržby a náklady se při určitém objemu produkce vyrovnají. Takzvaný bod zvratu (break even point) stanovuje objem výroby, při jehož překročení začíná zakázka generovat zisk. Přesný objem výroby, kterému přísluší bod zvratu, je určen výpočtem, grafické vyjádření je zobrazeno na obrázku 42.

$$Q_{EBP} = \frac{N_F}{P_v - N_v} = \frac{160000}{41,92 - 18,93} = 6669,45 \text{ ks}$$

Zakázka začne být zisková při vyrobení 6670 ks.



Obr. 42 Grafické určení bodu zvratu

5 ZÁVĚRY

Byl proveden návrh výroby krytu vývodové hřídele zemědělské techniky. Vyráběná součást je rotačního tvaru s přírubou o tloušťce stěny 1,5 mm, z oceli DC04. Objem výroby byl stanoven na 10000 ks za rok. Součást bude vystavena atmosférickým vlivům, a proto bude protikorozně ošetřena žárovým zinkováním.

Z uvažovaných variant výroby byla zvolena technologie konvenčního tažení. V návrhu výroby výtažku byl určen průměr polotovaru 231 mm. Pro tento přístřih byl vypracován nástřihový plán, z propočtených variant bylo zvoleno jako nejvhodnější zhotovování přístřihů z tabule plechu velikosti 1250x2500 mm, v jednořadém nástřihovém plánu při příčném dělení tabule. Využití materiálu je 67,05% a z jedné tabule bude zhotoveno 50 přístřihů, celkem je zapotřebí 200 tabulí.

Výtažek bude zhotoven ve čtyřech tažných operacích, bez rekrytalizačního žíhání. Během všech tahů je nutné použít přidržovač. Podle vypočtené potřebné celkové síly 749 kN byl pro tažení zvolen dvojčinný hydraulický lis CTH 250. Tažení bude realizované v nástroji, který je modulární, složený ze čtyř tažidel. Nástroj je navržen pro dvojčinný lis. Práce obsahuje výkres sestavy tažidla pro první tah a výkresy jeho funkčních částí. Navržené technologické parametry byly ověřeny v provedené simulaci prvního tahu, na základě této simulace byl snížen přidržovací tlak na 2,1 MPa.

Bylo provedeno orientační ekonomické zhodnocení, uvažovány byly přibližná cena materiálu a zpětný prodej odpadu, mzdové náklady pouze pro pracovníky zajišťující samotné tažení a přibližné náklady na energie. Z fixních nákladů bylo počítáno pouze s odhadovanou cenou nástroje. Na základě těchto údajů byla při výrobní sérii 10000 ks stanovena prodejní cena jednoho výtažku na 41,92 Kč. Zisk začne výroba generovat při vyrobení 6670. kusu.

Navržená technologie výroby je z technického hlediska realizovatelná a z ekonomického hlediska je efektivní. Při výhledovém opakování této zakázky je, při posouzení životnosti nástroje a výrobě náhradních dílů, reálné snížení prodejní ceny dílu pro zvýšení konkurenceschopnosti této výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]

- [1] ARCELOR MITTAL. *Steels for cold forming* [online]. 2014 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: http://industry.arcelormittal.com/prd_web/new_web_details.pl?code=B10&langlist
- [2] BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 114 s. ISBN 80-248-0068-3.
- [3] CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
- [4] ČADA, Radek. *Postup údržby I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-802-4815-060.
- [5] DECKENBACH CZ S.R.O. *Molyduval: Speciální maziva pro tváření kovů bez pnutí* [online]. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné také z: http://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf
- [6] DOLEŽAL, Jan. *Maziva vhodná pro tažení nerezavějící oceli*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 63 s. 4 výkresů. CD. Vedoucí diplomové práce doc. Ing Zdeněk Lidmila, CSc.
- [7] DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
- [8] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. VUT FSI UST. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K* [online]. 2006. Brno, 2006 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm
- [9] ESFAHLAN, H. Nezami, Sh. Abbasnejad DIZAJI a F. DJAVANROOD. Experimental and Numerical Analysis for Hydroforming of Ti6Al4V Alloy Used in Aerospace, Assisted by Floating Disk. *Journal of Applied Sciences*. 2009-12-1, 9(16): 2925-2932. DOI: 10.3923/jas.2009.2925.2932. ISSN 18125654. Dostupné také z: <http://www.scialert.net/abstract/?doi=jas.2009.2925.2932>
- [10] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [11] GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. 2002 [cit. 2015-17-05]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf
- [12] KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze, 1978, 158 s. Dostupné také z: www.strojar.com/upload/skripta/NVPO_nastroje_pro_tvareni.pdf
- [13] KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
- [14] LENFELD, Petr. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Technologie II: Technologie tváření kovů* [online]. 2005 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
- [15] LIBOR BROM - MOSTR. *Linky na zpracování tenkých plechů ze svitku* [online]. 2008 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.mostr.cz/Linky-na-zpracovani-tenkych-plechu-ze-svitku.html>

- [16] LIDMILA, Zdeněk. *Technologické procesy* [přednáška]. Brno: VUT FSI, 2014.
- [17] MARINOV, Valery. *Manufacturing Processes for Metal Products*. Kendall Hunt Pub Co, 2008. ISBN 07-575-5005-3.
- [18] *Mechanika těles: pružnost a pevnost I. 3.*, přeprac. vyd., v Akademickém nakl. CERM 1. Brno: CERM, 2004, 287 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2592-X.
- [19] NATIONAL DIE COMPANY. *Deep drawing: Capabilities* [online]. 2011. [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: http://www.nationaldieco.com/Capabilities/Deep_Drawing_Metal/
- [20] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [21] NOVOTNÝ, Karel. VUT FSI. *Výrobní stroje: Část I. - Tváření*. Praha: SNTL, 1983, 112 s.
- [22] NOVOTNÝ, Karel. VUT FSI, UST. *Výrobní stroje a zařízení: část: tvářecí stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2002.
- [23] ROMANOVSIKJ, V.P. *Příručka pro lisování za studena*. 2. dopl. vyd. Praha: SNTL, 1959, 540 s.
- [24] SCHULER GMBH. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, xx, 563 s. ISBN 35-406-1185-1.
- [25] ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vyd. 1. Praha: VUT Brno, 1991, 109 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0259-8.
- [26] TATÍČEK, František. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum*. 2011, (2011/11): 26. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
- [27] TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 196 s. Knižnice techn. aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
- [28] ŽÁK, Ladislav. *Speciální technologie výroby* [přednáška]. Brno: VUT FSI. 30.10.2014.
- [29] ŽĎAS, A.S. *Principy pohonu mechanických lisů ŽĎAS: Mechanické lisy klikové* [online]. 2015 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=66>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Celková práce vykonaná lisem v jednom zdvihu	[J]
A _i	Tažná práce v daném tahu	[J]
c	Součinitel zaplnění diagramu tažné síly	[-]
C	Koeficient vyjadřující vliv parametrů tažení na průběh tažné síly	[-]
d _{is}	Přepočtený průměr výtažku v daném tahu	[mm]
d _i	Průměr výtažku v daném tahu	[mm]
d _n	Konečný průměr výtažku	[mm]
d _{n-1}	Průměr výtažku v předchozí operaci	[mm]
d _p	Průměr příruby výtažku	[mm]
D ₀	Průměr přístřihu	[mm]
D _{0skut}	Průměr přístřihu zvětšený o přídavek na odstřížení	[mm]
D _p	Průměr příruby	[mm]
D _{pv}	Průměr příruby před ostřížením	[mm]
D _{te}	Průměr tažnice	[mm]
D _{tk}	Průměr tažníku	[mm]
D _u	Průměr upínací části tažníku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E _m	Velikost můstku	[mm]
F	Velikost mezery	[mm]
F _c	Celková síla	[N]
F _k	Maximální tažná síla, při které dojde k utržení dna	[N]
F _{krit}	Kritická síla	[N]
F _p	Přidržovací síla	[N]
F _{vkrit}	Vzpěrná kritická síla	[N]
h	Hloubka tažení	[mm]
h _i	Výška výtažku	[mm]
i	Počet tažných operací	[-]
I	Modul průřezu	[mm ⁴]
I _m	Cena spotřebovaného materiálu	[Kč]
i _p	Počet přístřihů z jedné tabule	[ks]
i _{tab}	Počet tabulí plechu	[ks]
k	Materiálový součinitel	[mm]
k _v	Koeficient bezpečnosti pro namáhání na tlak	[-]
K	Stupeň tažení	[-]
K _s	Krok střihu	[mm]
l	Délka tělesa tažníku	[mm]
L	Délka tabule plechu	[mm]
m _c	Celkový součinitel tažení	[]
m _i	Součinitel tažení pro daný tah	[-]
m _o	Spotřeba materiálu	[kg]
m _t	Hmotnost tabule plechu	[kg]
M _t	Mzdový tarif	[Kč]
m _{tc}	Hmotnost odpadu	[kg]
n	Teoretický počet tažných operací	[-]
n _l	Počet otáček	[min ⁻¹]
n _p	Počet pruhů plechu	[ks]
n _{př}	Počet přístřihů z tabule plechu	[ks]
n _{přp}	Počet přístřihů z pruhu plechu	[ks]
n _s	Potřebný počet směn	[-]

Označení	Legenda	Jednotka
N_C	Celkové náklady	[Kč]
N_e	Náklady na elektrickou energii	[Kč]
N_f	Fixní náklady	[Kč]
N_m	Náklady na materiál	[Kč]
N_{mz}	Mzdové náklady	[Kč]
N_n	Náklady na nástroje	[Kč]
N_v	Celkové variabilní náklady	[Kč]
N_{vc}	Celkové náklady na výrobu jednoho výtažku	[Kč]
N_{vv}	Variabilní náklady výrobu jednoho výtažku	[Kč]
p	Měrný přidržovací tlak	[MPa]
p_E	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
p_{kg}	Pořizovací cena materiálu	[Kč/kg]
p_{okg}	Prodejní cena odpadu	[Kč/kg]
p_t	Tlak působící na upínací plochu tažníku	[MPa]
P	Příkon stroje	[kW]
P_o	Zisk z prodeje odpadu	[Kč]
P_v	Cena jednoho výrobku	[Kč]
q	Pracovní zdvih tažníku	[mm]
Q	Objem výroby	[ks]
Q_{EBP}	Objem výroby při dosažení bodu zvratu	[ks]
Q_{hl}	Výrobní kapacita lisu	[ks/h]
Q_s	Počet kusů vyrobených za jednu směnu	[ks]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_{te}	Poloměr zaoblení tažnice	[mm]
R_{tk}	Poloměr zaoblení tažníku	[mm]
s	Tloušťka stěny výtažku	[mm]
s_{max}	Maximální tloušťka plechu	[mm]
S_0	Plocha přístřihu	[mm ²]
S_c	Činná plocha pod přidržovačem	[mm ²]
S_p	Šířka pruhu plechu	[mm]
S_s	Šířka svitku plechu	[mm]
\bar{S}	Šířka tabule plechu	[mm]
t_c	Celkový výrobní čas	[h]
t_h	Výrobní čas během jedné směny	[h]
t_k	Kontrolní čas	[h]
t_p	Doba přestávky	[h]
$t_{př}$	Přípravný čas	[h]
t_s	Délka směny	[h]
v	Rychlost klikového lisu	[m.min ⁻¹]
V_0	Objem přístřihu zvětšeného o přídavky	[mm ³]
V	Objem výtažku	[mm ³]
V_t	Objem tabule plechu	[mm ³]
x_i	Poloha těžiště tažné síly daného tahu	[mm]
x_s	Poloha těžiště tažných sil	[mm]
z_i	Tažná mezera v daném tahu	[mm]
z	Tažná mezera v prvním tahu určená dle Oehlera	[mm]
z_b	Celkový zdvih beranu lisu	[mm]
Z	Materiálová konstanta	[-]

Označení	Legenda	Jednotka
α	Součinitel užití přídržovače	[-]
Δs	Poměrná tloušťka polotovaru	[-]
μ	Využití tabule	[%]
μ_{ti}	Využití materiálu tabule v dané variantě	[%]
μ_s	Využití svitku	[%]
ρ	Hustota oceli	[kg.m ⁻³]
σ_1	Radiální tahové napětí	[MPa]
σ_2	Tečné tahové napětí	[MPa]
σ_3	Tlakové napětí	[MPa]
σ_{dov}	Dovolené napětí při namáhání v tlaku	[MPa]
φ_1	Deformace v radiálním směru	[-]
φ_2	Deformace normálová	[-]
φ_3	Deformace v tangenciálním směru	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Určení součinitelů tažení
Příloha 2 Vlastnosti 3D modelu výtažku
Příloha 3 Grafické určení průměru přístřihu
Příloha 4 Volba střížného můstku a mezery
Příloha 5 Mazivo Moralub KFP 11
Příloha 6 Lis CTH 250

Výkresová dokumentace:

Kryt	BP-01-153406
Tažidlo – první tah	BP-02-153406
Tažnice – první tah	BP-03-153406
Tažník – první tah	BP-04-153406
Sestava nástroje	BP-05-153406

Nejmenší hodnoty součinitelů prvního tažení pro váleovité součásti s přírubou

Poměrný průměr příruby $\frac{d_p}{d}$	Poměrná tloušťka polotovaru $\frac{S}{D} \cdot 100$				
	2—1,5	1,5—1,0	1,0—0,6	0,6—0,3	0,3—0,15
Do 1,1	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59
1,3	0,49	0,51	0,53	0,54	0,55
1,5	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52
1,8	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48
2,0	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45
2,2	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42
2,5	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38
2,8	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35
3,0	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33

Tabulka 64

Součinitele pro další tažení pro váleovité součásti s přírubou

Součinitele tažení	Poměrná tloušťka polotovaru $\frac{S}{D} \cdot 100$				
	2	1,5	1,0	0,6	0,3
	až 1,5	až 1,0	až 0,6	až 0,3	až 0,15
m_2	0,73	0,75	0,76	0,78	0,80
m_3	0,75	0,78	0,79	0,80	0,82
m_4	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84
m_5	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86

Fyzikální vlastnosti

☐ Uživatelské vlastnosti

Souřadnicový systém:
Modelový prostor

Materiál
Název:
Steel DC04
Hustota:
7833,000 kg/m³
Změnit

Přesnost (0 až 1.0):
0,99

☒ Aktualizovat při uložení souboru

Obecné Hlavní

Hmotnost: 0,438 kg Objem: 55855,332 mm³ Plocha: 75152,36 mm²

Těžiště

☒ Zobrazit značku **cm**

X: 0,00 mm Y: 0,00 mm Z: 62,64 mm

Hmotný střed objemu

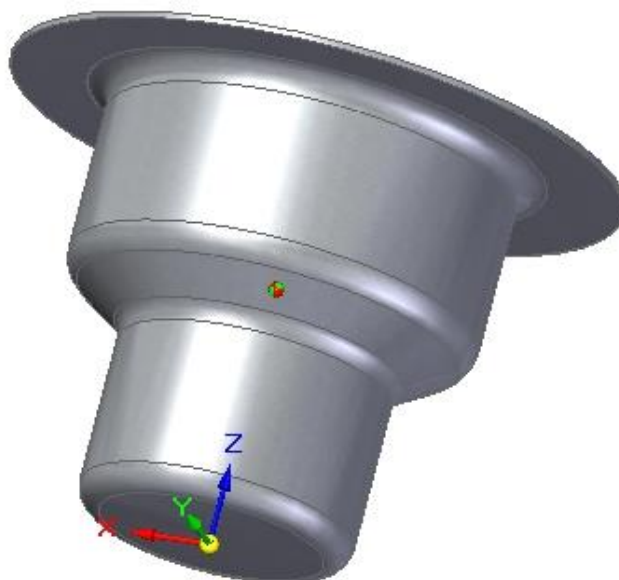
☒ Zobrazit značku **cv**

X: 0,00 mm Y: 0,00 mm Z: 62,64 mm

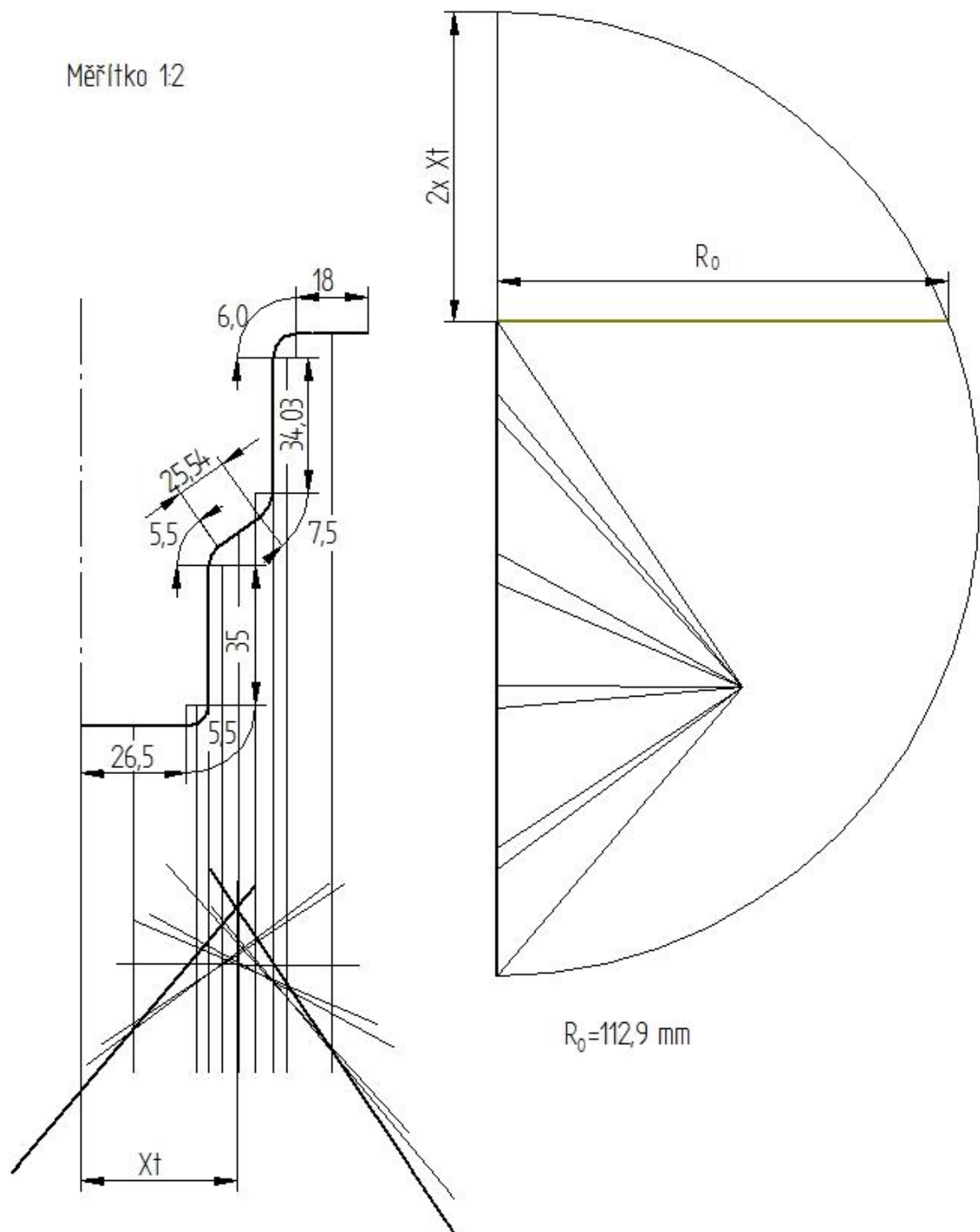
Hlavní momenty setrvačnosti

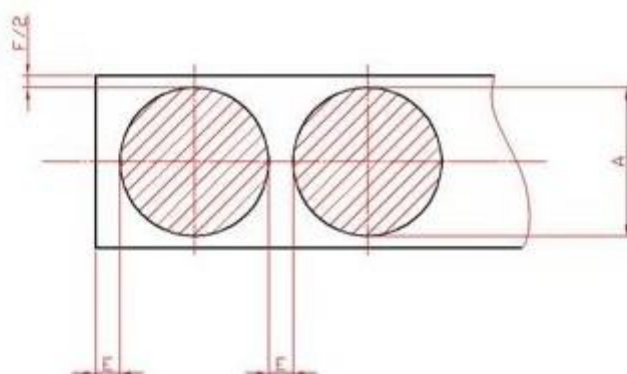
box: 0,00 kg·m² lyy: 0,00 kg·m² lzz: 0,00 kg·m²
byx: 0,00 kg·m² bzy: 0,00 kg·m² byz: 0,00 kg·m²

Aktualizovat Zavřít Uložit jako... nápověda

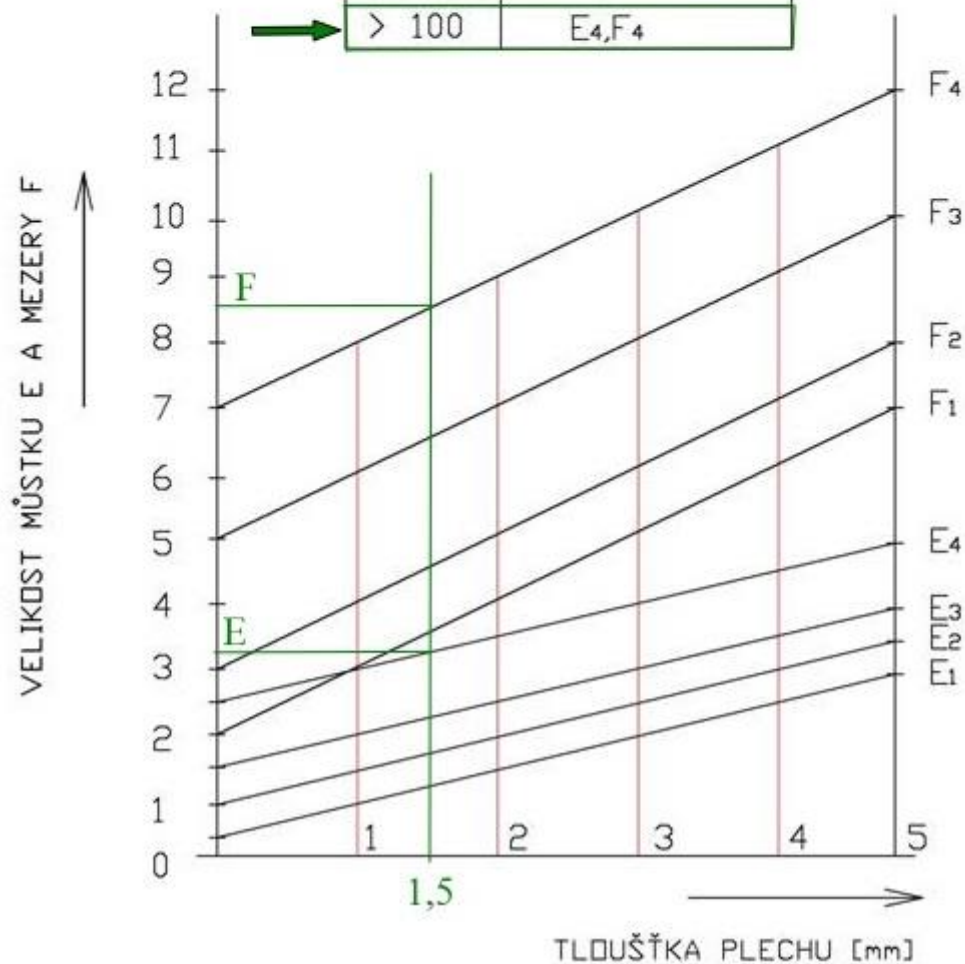


Měřítko 1:2





A[mm]	Příslušné E,F
do 15	E ₁ ,F ₁
15-50	E ₂ ,F ₂
50-100	E ₃ ,F ₃
> 100	E ₄ ,F ₄



MOLYDUVAL

Moralub KFP 11



Metal Working Lubricant

A low viscosity, extreme pressure lubrication fluid for heavy non-cutting metal forming operations e.g. cold moulding, deep drawing, stamping of metals. Long tool life even in the range of boundary lubrication and reduced forming forces and tool wear at places with high surface pressures.

Properties

- * high pressure ability
- * free of chlorine
- * free of silicones
- * good moistening
- * low wear, long tool life
- * low odor
- * excellent cooling properties
- * strong tackiness caused by very long molecules

Applications

- * for tool and workpiece lubrication in cold metal forming like deep drawing or squeezing
- * for tool preparation in stamping, deep drawing, deridging
- * for cold forming of metals
- * for cooling and lubrication in aluminium extrusion
- * for stamping and forming precious metals, copper, brass, etc.
- * for stamping and cutting of thin metal sheets
- * for manufacturing of screws, nuts, discs, spark plugs, etc.

Technical Datas

Color		beige
Base Fluid		Min
Viscosity Class	ISO-VG	5-10
Density 20°C	kg/m³	900
Content Schwefel	quan	ja
Viscosity 40°C	mm²/s	8
Flash Point	°C	125

CTH 250

Hydraulické universální lisy



ZDAS

ŽDAS, a.s.

Strojírenská 6
59171, Žďár nad Sázavou

Telefon: 566 642 124
Fax: 566 642 871

E-mail: or@zdas.cz
WWW: www.zdas.cz

IČO: 463471160
DIČ: CZ46347160

Hlavní technické údaje

Pracovní rozsah

Jmenovitá síla	2500 [kN]
Zpětná síla	300 [kN]
Sevření	800 [mm]
Zdvih	800 [mm]
Rychlost pracovní max.	70 [mm.s-1]
Rychlost pracovní min.	20 [mm.s-1]
Rozměr stolu	1000 x 1 250 [mm]
Rozměr beranu	1000 x 1250 [mm]
Výkon hlavního motoru	55 [kW]

Příslušenství

Homí, spodní vyhazovač (přidržovač)
 Upínky nástrojů
 Výměna nástrojů
 Ochranné kryty (mechanické nebo optické)
 Čtyřruční spouštění (přenosový stojánek)
 Tlumení rázů
 Pojízdný, plnicí a filtrační olejový agregát
 Základové kotevní desky a pokrytí základu